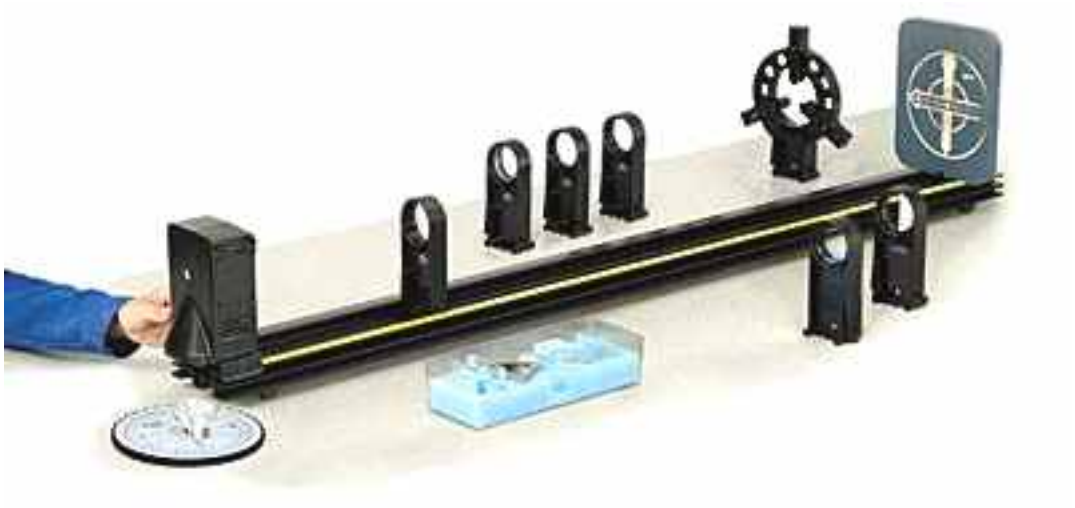
SISTEMA BÁSICO DE ÓPTICA

MODELO OS-8515C

MANUAL DE ACTIVIDADES EXPERIMENTAIS

(ACTUALIZADO)



PASCO

J. ROMA, Lda.

SUMÁRIO

Introdução 3

Acerca do equipamento 5

Acerca das experiências 6

Experiência 1: Adição de cores 7

Experiência 2: Prisma 9

Experiência 3: Reflexão 11

Experiência 4: Lei de Snell 13

Experiência 5: reflexão interna total 15

Experiência 6: Lentes concavas e convexas 17

Experiência 7: Lente oca 18

Experiência 8: Equação dos fabricantes de lentes 20

Experiência 9: Profundidade aparente 22

Experiência 10: Reversibilidade 24

Experiência 11: Dispersão 26

Experiência 12: Distância focal e ampliação de uma lente delgada 28

Experiência 13: Distância focal e ampliação de um espelho côncavo 31

Experiência 14: Imagens virtuais 34

Experiência 15: Telescópio 37

Experiência 16: Microscópio 40

Experiência 17: Sombras 43

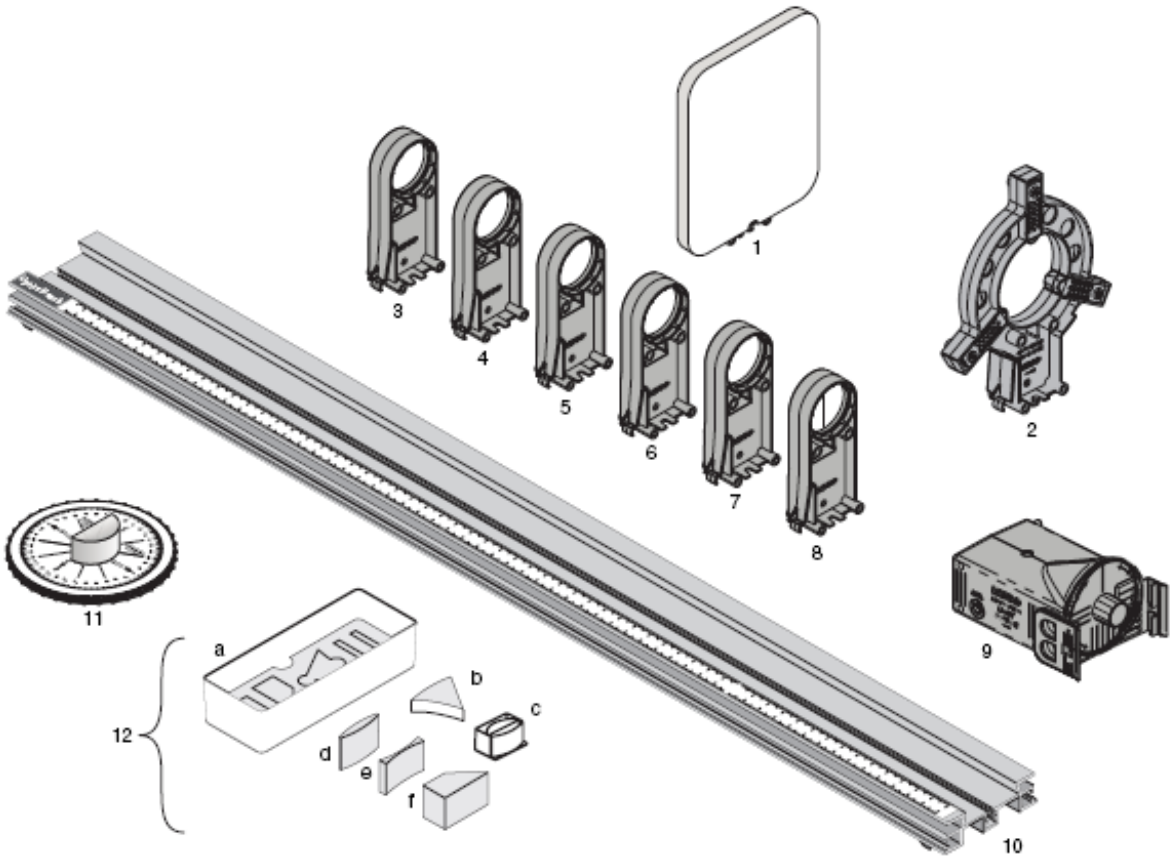
Guia para o professor 45

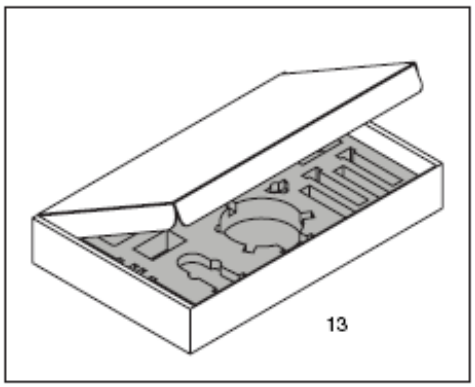
INTRODUÇÃO

O Sistema Básico de Óptica, modelo OS-8515C, da Pasço Scientific, foi no início de 2007 modificado com a inclusão de novos componentes ópticos e acessórios que vem, por um lado, facilitar as actividades experimentais já existentes do anterior sistema, e por outro lado vem possibilitar expandir a gama de actividades experimentais possíveis de realizar comparativamente com o sistema básico de óptica anterior.
Uma outra modificação importante foi no *design* da nova fonte de luz. As características básicas são as mesmas que o modelo anterior mas a nova concepção vem facilitar a sua utilização, nomeadamente na melhor facilidade de uso quando utilizado fora do banco de óptica.
Este manual é uma actualização do manual do sistema básico de óptica anterior (modelo OS-8515) e incluí novas actividades experimentais de acordo com os novos elementos entretanto incluídos nesta nova versão do sistema. No entanto existem ainda outros componentes e acessórios opcionais que lhe permitem expandir ainda mais a gama de actividades experimentais para este sistema de óptica. Para mais informações contacte:

Humberto Ribeiro
J. Roma, Lda.
Praça da Figueira, nº 12 – 1º
1100-241 Lisboa
Telf. 218810130 ● Fax: 218810139 ● humberto@jroma.pt

Equipamento incluído:
Nota: qualquer elemento do sistema básico de óptica da Pasço pode ser adquirido em separado. Por isso incluímos as referências individuais de cada elemento em caso de necessidade.





1) Ecrã	OS-8467
2) Suporte ajustável para lentes	OS-8474
3) Lente de +100 mm com suporte	OS-8456 (fornecido em conjunto)
4) Lente de +200 mm com suporte	
5) Lente de +250 mm com suporte	OS-8519 (fornecido em conjunto)
6) Lente de -150 mm com suporte	
7) Espelho côncavo / convexo	OS-8457 (fornecido em conjunto)
8) Meio ecrã	
9) Fonte de luz	OS-8470
10) Banco de óptica graduado de 1,2 m	OS-8508
11) Mesa de raios com lente em forma de D	OS-8465
12) Caixa de raios ópticos que inclui: a) Caixa de arrumação / Tanque de água b) Espelho c) Lente oca d) Lente convexa e) Lente côncava f) Romboedro acrílico	OS-8516A 740-177 636-05100 OS-8511 636-05501 636-05502 636-05611
13) Caixa de arrumação	740-09892

ACERCA DO EQUIPAMENTO

Banco de óptica: os componentes ópticos do sistema encaixam com um pouco de pressão no canal central do banco de óptica. Deverá colocar o banco de óptica numa mesa estável e firmemente faça um pouco de pressão para baixo o componente óptico que vai usar. Para colocar o elemento óptico noutra posição não necessita de o remover do banco. Basta fazer um pouco de pressão lateral no componente óptico e deslizar lentamente ao longo do canal central do banco de óptica.
Alguns componentes (como por exemplo o ecrã) possuem um parafuso e uma porca quadrada de aperto. Nesses casos deverá encaixar a porca quadrada no veio central do banco de óptica de preferência sem desaparafusar por completo o parafuso para não o perder.
A régua amarela colada no banco de óptica ira lhe auxiliar a posicionar e a tirar medidas correctas da posição do componente óptico.

Fonte de luz: se já conhece a anterior fonte de luz do sistema básico de óptica, a única coisa diferente que vai encontrar nesta versão é seu novo *design*. Esta nova concepção veio facilitar a sua utilização fora do banco de óptica e em cima de uma mesa normal de sala de aula. Funciona como um fonte de luz branca pontual, um objecto bem iluminado e em forma de cruz, fonte de cores primária e poder ainda projectar entre 1 e 5 raios paralelos.

Lentes com suporte: o Sistema Básico de Óptica inclui duas lentes de 50 mm de diâmetro fixas a um suporte de plástico apropriado. Deverão ser usados apenas no banco de óptica em conjunto com os outros elementos do sistema.

Suporte ajustável de lentes: este componente é um dos novos elementos constituintes do sistema básico de óptica. Permite que encaixe no centro qualquer tipo de lente que possuem no seu laboratório (não sendo por isso necessário usar lentes exclusivas da Pasço). Permite encaixar lentes entre 20 e 75 mm de diâmetro. O encaixe da lente é dado por três parafusos concêntricos.

Ecrã: para visualização de imagens formadas pelas lentes. Encaixa no banco de óptica através de parafuso e porca quadrada (embora também possa ser usado fora do banco apesar de não ser tão prático).

Mesa de raios e lente em forma de D: outro novo componente no Sistema Básico de Óptica. Trata-se na prática de um disco de Hartl, graduado, podendo ser usado sobre uma mesa de trabalho estável. É incluída uma lente de acrílico em forma de D, que deverá ser colocada na zona desenhada para tal no centro da mesa de raios. Com esta lente poderá, em conjunto com a fonte de luz, estudar ângulos de incidência, reflexão e de refracção.

Kit de raios ópticos: conjunto de componentes ópticos concebidos especialmente para uso com a fonte de luz do sistema básico de óptica. Para uma melhor definição do fenómeno óptico em estudo com estes componentes, aconselha-se que pouse o elemento óptico sobre uma folha de papel branca.

ACERCA DAS EXPERIÊNCIAS

O presente manual está concebido para uso com os componentes ópticos que constituem o Sistema Básico de óptica OS-8515B. Cada actividade começa com uma lista de materiais necessários para a correcta realização da experiência. Na parte final do manual inclui-se um guia para o professor que inclui resultados típicos para cada experiência assim como algumas dicas de utilização e respostas aos questionários das experiências.
Para a obtenção de melhores resultados, trabalhe com os seus alunos numa sala com pouca iluminação.

Experiências com o kit de raios ópticos: estas experiências usam alguns componentes do kit de raios ópticos, a fonte de luze podem requerer ainda uma folha de papel branco, uma régua, um transferidor e um compasso.

1. **Adição de cores**: explore os resultados obtidos pela mistura de luzes coloridas e ainda de tinta de cor com luz colorida.
2. **Prisma:** mostre como um prisma separa luz branca nos seus componentes coloridos e mostre ainda que diferentes cores são refractadas a diferentes ângulos através do prisma.
3. **Reflexão**: mostre como raios de luz são reflectidos por espelhos planos, côncavo e convexo.
4. **Lei de Snell**: determine o índice de refracção do acrílico ao medir ângulos de incidência e de refracção de um raio de luz que passe através de um romboedro de acrílico.
5. **Reflexão total interna**: determine o ângulo crítico a que ocorre reflexão interna no interior de um romboedro de acrílico.
6. **Lentes côncavas e convexas**: use raios de luz para determinar distâncias focais de lentes.
7. **Lente oca**: use a lente oca com água para explorar como as propriedades de uma lente estão relacionadas com a sua forma, o seu índice de refracção e com o índice de refracção do meio envolvente.
8. **Equação dos fabricantes de lentes**: determine a distância focal de uma lente côncava medindo o seu raio de curvatura.
9. **Profundidade aparente**: meça a profundidade aparente do romboedro de acrílico e determine o índice de refracção comparando a profundidade aparente com a espessura.

Experiências com mesa de raios: estas experiências usam a mesa de raios (ou disco de Hartl) com a lente em forma de D e ainda com a fonte de luz.

10. **Reversibilidade**: explore como a relação entre ângulo de incidência e de refracção está relacionado com a direcção de propagação.
11. **Dispersão**: mostre como a luz branca é separada em cores pela lente em forma de D e determine os diferentes índices de refracção para luz vermelha e luz azul.

Experiências com banco de óptica: estas experiências usam o banco de óptica, lentes com suporte, ecrã e ainda a fonte de luz.

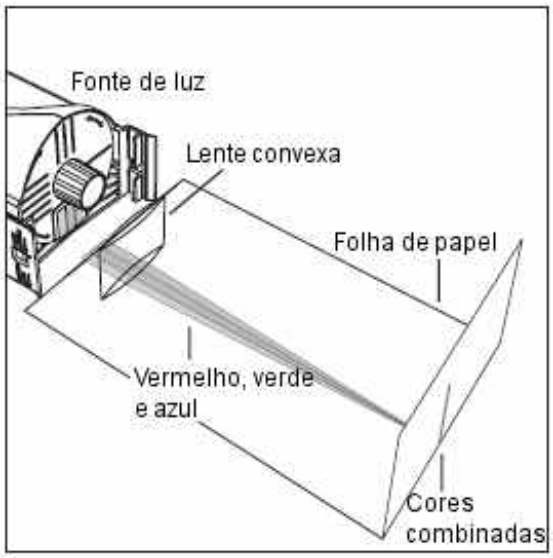
12. **Distância focal e ampliação de uma lente delgada**: determine a distância focal de uma lente convergente pela formação de imagens no ecrã.
13. **Distância focal e ampliação com um espelho côncavo**: determine a distância focal de um espelho côncavo e meça a ampliação de uma certa combinação de imagem e distância ao objecto;
14. **Imagens virtuais**: estude imagens virtuais formadas por uma lente divergente e um espelho convexo;
15. **Telescópio**: construa um telescópio e determine as suas ampliações.
16. **Microscópio**: construa um microscópio e determine as suas ampliações.
17. **Sombras**: mostre diferentes tipos de sombras.

EXPERIÊNCIA 1: ADIÇÃO DE CORES

Equipamento necessário:
- Fonte de luz
- Lente convexa

Outros equipamentos:
- Caneta de filtro ou marcadores de cor vermelha, azul e preta
- Folha de papel branco

OBJECTIVOS
Determinar as cores resultantes da adição de duas ou três cores primárias e mostrar o efeito de iluminar objectos coloridos com luz de diferentes cores.



PARTE 1: adição de luzes coloridas

Procedimento
1. Coloque a fonte de luz sobre uma folha de papel branco em cima da mesa. Ajuste a caixa de modo a produzir as cores primárias rodando o disco da fonte de luz.
2. Coloque a lente convexa perto da fonte de luz, de modo a focar os raios e levá-los a encontrarem-se num ponto (foco).
3. Qual a cor da luz quando os três raios se reúnem? Registe o resultado na Tabela 1.1.
4. Bloqueie agora o raio verde com um objecto opaco (por exemplo, um lápis ou uma caneta). Qual a cor resultante da adição de vermelho e azul? Registe o resultado na Tabela 1.1
5. Repita o passo 3, bloqueando sucessivamente uma cor de cada vez e completando a Tabela 1.1

Tabela 1.1 Resultados da Adição de Cores

CORES ADICIONADAS	COR RESULTANTE
Vermelho + azul + verde	
Vermelho + azul	
Vermelho + verde	
Verde + azul	

Questionário:
1. Se tivesse consigo latas de tinta com as mesmas cores da fonte de luz acha que iria conseguir os mesmos resultados com as luzes coloridas da fonte? Explique.
2. Diz-se que a cor branca é a adição de todas as cores. Nesta experiência a mistura de luz vermelha, verde e azul resultou numa luz branca? Explique.

PARTE 2: observar tinta colorida sobre luz colorida

Procedimento
1. Sem estar a olhar para a folha de papel, peça a um colega para desenhar numa folha de papel branco um risco com o marcador vermelho e com o marcador preto. Diga-lhe para marcar com a letra A uma das linhas e com a letra B a outra linha, mas não deverá saber qual letra corresponde a qual linha.

Antes de olhar para a folha de papel, peça ao seu colega para escurecer a sala de aula o máximo possível. Usando apenas a luz azul de cor da fonte de luz, peça ao colega para iluminar a folha de papel com as linhas traçadas. Observe agora. Que cores parecem ter as linhas? Parecem ter cores diferentes? Registe as suas observações na tabela 1.2. Observe agora as linhas desenhadas pelo seu colega.

2. Repita o passo 1, mas desta vez desenhando uma linha de cor azul e outra de cor preta e observar o efeito sobre luz vermelha.
3. Para o ensaio 2, troque com o seu colega e repita os procedimentos preenchendo sempre as observações na tabela 1.2.

Tabela 1.2: tinta de cor observada por luz colorida

Ensaio 1: Nome do observador: _____

Cor da luz	Linha	Cor aparente	Parecem diferentes?	Cor real
Azul	A			
	B			
Vermelha	C			
	D			

Ensaio 2: Nome do observador: _____

Cor da luz	Linha	Cor aparente	Parecem diferentes?	Cor real
Azul	A			
	B			
Vermelha	C			
	D			

4. Observe a linha vermelha e a linha preta sobre luz vermelha. Qual delas é mais facilmente observável?

Questionário:

1. O que faz a tinta vermelha parecer vermelha? Quando a tinta vermelha é iluminada por luz azul, a luz é absorvida ou reflectida?
2. Quando iluminado com luz vermelha, porque é que a tinta vermelha é mais difícil de ver do que a tinta preta?

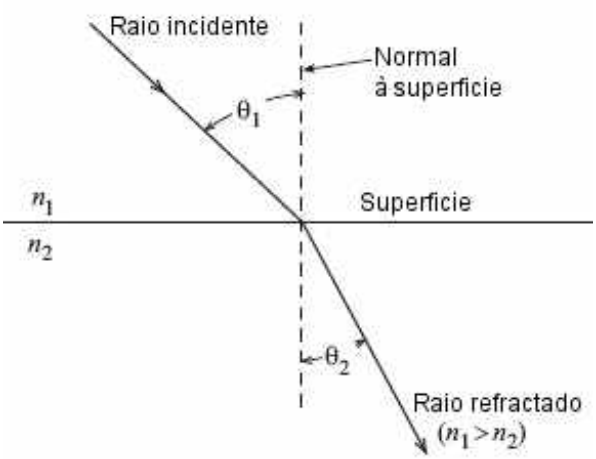
EXPERIÊNCIA 2: PRISMA

Equipamento necessário:

- Caixa de Raios (um só raio de luz branca)
- Romboedro (usado como prisma)
- Folha de papel branco

OBJECTIVOS

Mostrar como um prisma separa a luz branca nas suas cores componentes, e mostrar como raios de diferentes cores são refractados através do prisma segundo ângulos diferentes.



Teoria

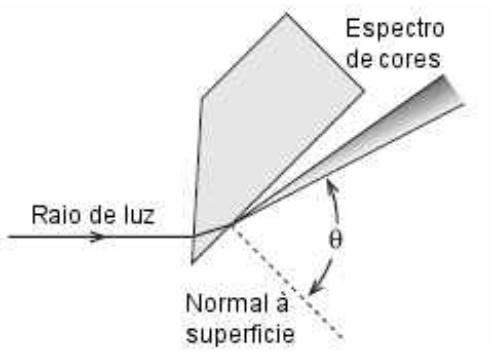
De acordo com a Lei de Snell

n_1 sen $\theta_1 = n_2$ sen θ_2

O ângulo de refracção depende do ângulo de incidência e do índice de refracção do material. Dado que o índice de refracção varia com a frequência da luz, a luz branca que entra no material segundo um determinado ângulo de incidência, separar-se-á nas suas cores componentes, observando-se que radiações de diferentes frequências são desviadas de ângulos diferentes.
O romboedro é feito de vidro acrílico que tem um índice de refracção de 1,497 para luz de comprimento de onda 486 nm no vazio, 1,491 para comprimento de onda 589 nm e 1,489 para comprimento de onda 651 nm (vermelho). Note que, em geral, para luz visível, o índice de refracção no acrílico aumenta com o aumento da frequência.

Procedimento para Dispersão da Luz Branca

1. Coloque fonte de luz, sobre uma folha de papel branco, em cima da mesa. Ajuste a caixa, de modo a produzir apenas um raio de luz branca.



2. Posicione o romboedro como indicado na figura acima. A extremidade triangular do romboedro é usada como prisma nesta experiência. Faça incidir o raio luminoso perto da extremidade, para máxima transmissão de luz.

Rode o romboedro até que o ângulo (θ) feito pelo raio emergente com a normal, seja o maior possível, e o raio se separe nas diferentes cores.

Questionário

a) Quais as cores observadas, e em que ordem aparecem?

b) Qual a cor correspondente à refracção segundo o maior ângulo?

c) De acordo com a Lei de Snell, e a informação dada acerca da dependência do índice de refracção com a frequência, para o acrílico, qual a cor da radiação que se prevê ser refractada de um maior ângulo?

3. Inverta fonte de luz, de modo a produzir raios com as três cores primárias, e faça-os incidir no prisma segundo o mesmo ângulo usado para o raio de luz branca. Os raios coloridos emergem do prisma paralelamente uns aos outros? Porquê ou porque não?

EXPERIÊNCIA 3: REFLEXÃO - ESPELHOS PLANO E CURVOS

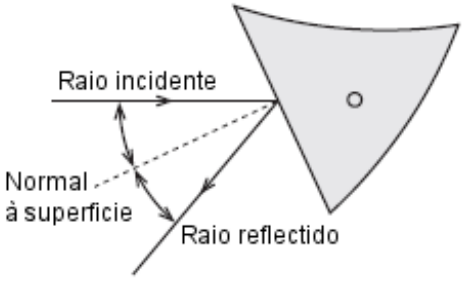
Equipamento necessário:
- Fonte de luz
- Espelho (do kit de raios ópticos)

Outros equipamentos:
- Transferidor
- Compasso de desenho
- Régua
- Folha de papel branco

OBJECTIVOS
Estudar como os raios são reflectidos, e determinar a distância focal e o raio de curvatura de diferentes tipos de espelhos.

PARTE I: Espelho Plano

Procedimento
1. Coloque a fonte de luz sobre uma folha de papel branco, em cima da mesa. Ajuste a caixa de modo a produzir um único raio de luz branca.
2. Coloque o espelho sobre a mesa e posicione-o de maneira a usar a sua face plana, de tal modo que ambos os raios, incidente e reflectido, sejam claramente visíveis.
3. Com um lápis, marque a posição da superfície do espelho plano e trace o raio incidente e reflectido. Assinale os raios através de setas com sentidos apropriados.
4. Desenhe a normal à superfície no ponto de incidência como na figura ao lado.



5. Meça o ângulo de incidência (θ_i) e o ângulo de reflexão. A sua medição deve ser feita tomando como referência a normal. Registe os ângulos na Tabela 3.1.
6. Faça variar o ângulo de incidência e meça novamente os ângulos de incidência e de reflexão. Registe os valores na Tabela 3.1. Repita este procedimento para um total de três ângulos de incidência diferentes.

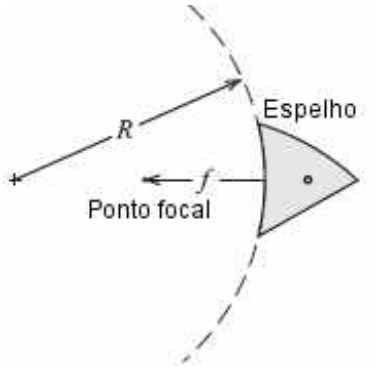
Tabela 3.1: Resultados do espelho plano

Ângulo de incidência	Ângulo de reflexão

7. Ajuste fonte de luz de modo a produzir três raios coloridos com as cores primárias. Faça incidir estes sobre o espelho plano, segundo um determinado ângulo. Com um lápis, marque a posição da superfície do espelho plano e trace os raios incidentes e reflectidos. Indique as cores dos raios que se aproximam e afastam do espelho, assinalando-os através de setas com sentidos apropriados.

Questionário
1. Qual a relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão?
2. A ordem dos três raios coloridos, da esquerda para a direita, é alterada pelo espelho plano?

PARTE II: Espelhos Cilíndricos

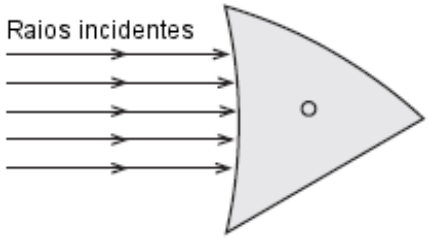


Teoria

Um espelho côncavo cilíndrico foca um feixe de raios paralelos num ponto (foco). A distância focal é a distância entre o foco e o centro da superfície do espelho. O raio de curvatura do espelho é o dobro da distância focal. Ver Figura 3.2.

Procedimento

1. Ajuste a fonte de luz para produzir um feixe de cinco raios paralelos; faça-os incidir no espelho côncavo de modo que a luz seja reflectida em direcção à caixa. Ver Figura 3.3. Desenhe a superfície do espelho e trace o raio incidente e reflectido. Assinale os raios que se aproximam e afastam do espelho por meio de setas com sentidos apropriados.
2. O ponto onde os cinco raios reflectidos se cruzam é o foco do espelho.
3. Meça a distância focal, desde o centro do espelho côncavo até ao ponto focal. Registe os resultados na Tabela 3.2.
4. Use o compasso para desenhar uma circunferência que corresponda à curvatura do espelho. Meça o raio de curvatura com uma régua e registe-o na Tabela 3.2.



5. Repita os passos 1 a 3 para o espelho convexo. Note que no passo 2, os raios reflectidos divergem a partir do espelho e não vão cruzar-se. Use uma régua para prolongar os raios reflectidos para trás do espelho. O foco situa-se na intersecção desses prolongamentos.

Tabela 3.2 Resultados para os Espelhos Cilíndricos

	Espelho côncavo	Espelho convexo
Distância focal		
Raio de curvatura		

Questionário

1. Qual a relação entre a distância focal de um espelho cilíndrico e o seu raio de curvatura? O resultado que obteve confirma a sua resposta?
2. Qual o raio de curvatura de um espelho plano?

EXPERIÊNCIA 4: LEI DE SNELL

Equipamento necessário:
- Fonte de luz
- Romboedro

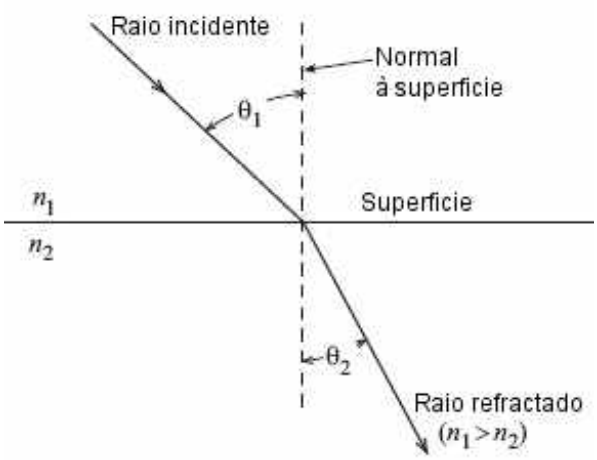
Outros equipamentos:
- Transferidor
- Papel branco

OBJECTIVO
Usar a Lei de Snell para determinar o índice de refracção do acrílico de que é feito o romboedro.

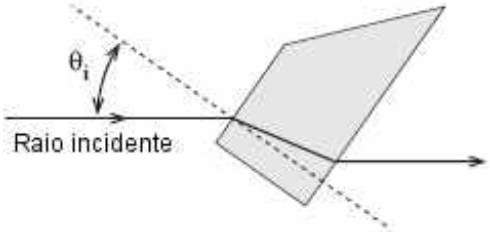
Teoria
A Lei de Snell afirma

n_1 sen $\theta_1 = n_2$ sen θ_2

Onde θ_1 é o ângulo de incidência, θ_2 é o ângulo de refracção, e n_1 e n_2 são os respectivos índices de refracção dos materiais. Ver Figura 4.1.



Procedimento
1. Coloque fonte de luz, sobre uma folha de papel branco, em cima da mesa. Ajuste-a para um único raio de luz branca.
2. Coloque o romboedro sobre o papel e posicione-o de modo a que o raio passe através de dois lados paralelos, como se mostra na Figura 4.2.
3. Com um lápis, desenhe o contorno do romboedro no papel e trace o raio incidente e transmitido. Assinale os raios por meio de setas com sentidos apropriados. Marque cuidadosamente os pontos em que o raio entra e sai do romboedro.



4. Retire o romboedro e trace um segmento de recta unindo os pontos onde o raio entrou e saiu do mesmo.
5. Escolha, ou o ponto em que o raio entra no romboedro, ou o ponto em que sai. Nesse ponto, desenhe a normal à superfície.
6. Meça o ângulo de incidência (θ_i) e o ângulo de refracção com o transferidor. Ambos devem ser medidos a partir da normal. Registe os ângulos na Tabela 4.1.
7. Faça variar o ângulo de incidência e meça de novo os ângulos de incidência e de refracção. Repita este procedimento para um total de três ângulos de incidência.

Tabela 4.1: Dados e resultados

Ângulo de incidência	Ângulo de refracção	Índice calculado de refracção do acrílico
		Média:

Análise

1. Usando a Lei de Snell e os seus dados, calcule o índice de refracção para o acrílico de que é constituído o romboedro, admitindo que o índice de refracção do ar é 1. Registe o resultado para cada um dos três conjuntos de resultados na Tabela 4.1.
2. Determine a média dos três valores do índice de refracção e compare-a com o valor aceite (n = 1,5), através do cálculo da percentagem de erro.

Questionário

Qual é o ângulo entre o raio que sai do romboedro e o raio que entra no romboedro?

EXPERIÊNCIA 5: REFLEXÃO TOTAL

Equipamento necessário:
- Fonte de luz
- Romboedro

Outros equipamentos:
- Transferidor
- Folha de papel branco

OBJECTIVO
Determinar o ângulo crítico para o qual ocorre reflexão total, e confirmar esta determinação usando a Lei de Snell.

Teoria
A Lei de Snell afirma

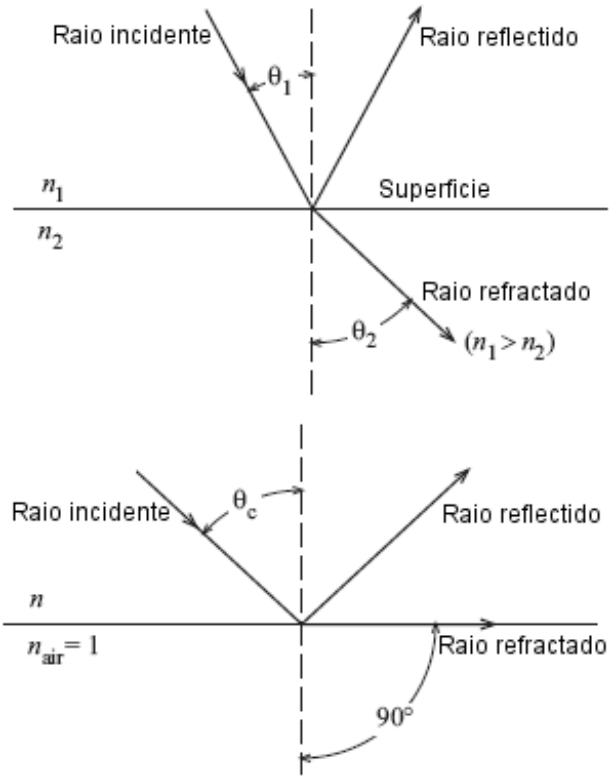
n_1 sen $\theta_1 = n_2$ sen θ_2

Onde θ_1 é o ângulo de incidência, θ_2 é o ângulo de refracção, e n_1 e n_2 são os respectivos índices de refracção dos materiais.
Se um raio luminoso, propagando-se de um meio de maior índice de refracção para um meio de menor índice de refracção, incidir na superfície de contacto segundo um ângulo superior ao ângulo crítico (θ_c), não existe raio refractado, ocorrendo reflexão total interna. Se o ângulo de incidência for exactamente igual ao ângulo crítico, o ângulo de refracção é de 90º. Neste caso, aplicando a Lei de Snell,

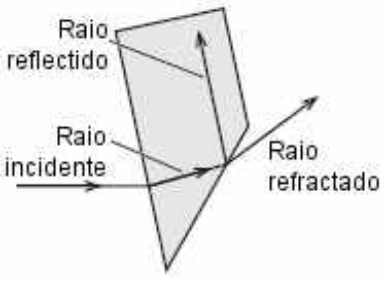
n sen $\theta_c = 1 \times$ sen 90º

Considerando ser o ar o meio de índice de refracção menor, com $n_2 = 1$, e o romboedro de acrílico o meio de índice de refracção maior, com $n_1 = n = 1{,}5$. Resolvendo em ordem ao ângulo crítico, obtemos

$$\text{sen } \theta_c = \frac{1}{n}$$

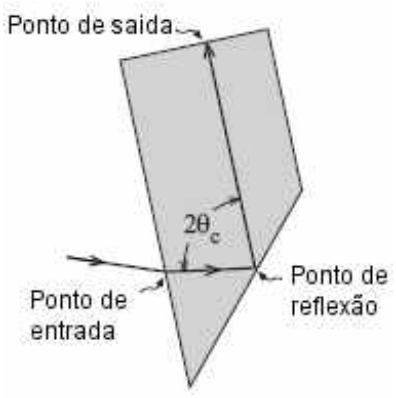


Procedimento
1. Coloque fonte de luz, com as indicações para cima, sobre uma folha branca de papel. Desloque a tampa de plástico, até obter um único raio de luz branca.
2. Posicione o romboedro do modo indicado na figura. Não faça incidir o raio sobre o prisma demasiadamente perto da extremidade triangular.
3. Rode o prisma até que o raio emergente praticamente desapareça. À medida que desaparece, verifica-se uma dispersão da luz branca. O prisma estará correctamente colocado, na posição em que a cor vermelha tiver acabado de desaparecer.



4. Com um lápis desenhe o contorno do romboedro no papel. Marque com cuidado o ponto em que o raio se reflecte internamente. Marque também o ponto de entrada do raio incidente e o ponto de saída do raio reflectido.

5. Retire o romboedro e desenhe o raio incidente e reflectido na superfície interna do prisma.. Meça o ângulo total entre esses raios usando um transferidor. Se necessário, pode prolongar os raios para tornar mais fácil a medição com o transferidor. Note que este ângulo total é duplo do ângulo crítico, já que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.
   Registe o valor experimental do ângulo crítico: _____
6. Calcule o ângulo crítico usando a Lei de Snell e o índice de refracção fornecido para o acrílico.
   Registe o valor teórico: _____
7. Calcule a percentagem de erro entre os valores medido e teórico:
   % erro = _____



Questionário:

1. Como varia a intensidade do raio reflectido internamente, quando o ângulo de incidência varia de um valor menor que θ_c até um valor maior que θ_c?
2. O ângulo crítico é maior para a luz vermelha ou para a luz violeta? O que é que isto lhe permite concluir acerca do índice de refracção?

EXPERIÊNCIA 6: REFRACÇÃO - LENTES CONVEXAS E CÔNCAVAS

Equipamento necessário:
- Fonte de luz
- Lente convexa
- Lente côncava

Outros equipamentos:
- Régua
- Segunda lente convexa (opcional)

OBJECTIVOS
Explorar a diferença entre lentes convexas e côncavas e determinar as suas distâncias focais.

Teoria
Um feixe de raios paralelos, depois de atravessar uma lente convexa delgada, converge no foco da lente. A distância focal é medida do centro da lente ao foco.

Procedimento
1. Coloque a fonte de luz sobre uma folha de papel. Ajuste-a para cinco raios paralelos e faça-os incidir através da lente convexa. Desenhe o contorno da lente e os raios incidentes e transmitidos. Indique o sentido de propagação usando setas com sentidos apropriados.
2. O ponto onde os cinco raios refractados se cruzam é o foco da lente. Meça a distância focal, desde o centro da lente convexa até ao foco. Registe o resultado na Tabela 6.1.
3. Repita o procedimento para a lente côncava. Note que no passo 2, os raios que saem da lente são divergentes e não se cruzam. Use uma régua para prolongar esses raios para trás, através da lente. O foco é o ponto em que esses prolongamentos se encontram.

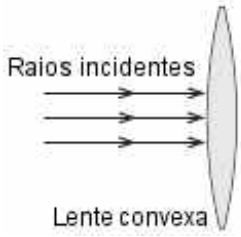
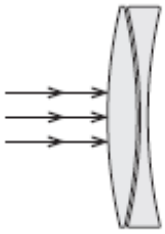


Tabela 6.1: Resultados

	Lente Convexa	Lente Côncava
Distância Focal		

4. Associe as duas lentes, encaixando-as uma na outra, e coloque-as no caminho do feixe de raios paralelos. Efectue o traçado dos raios. Que conclusão pode tirar acerca das distâncias focais destas duas lentes?
5. Afaste um pouco as duas lentes, para observar o efeito de combinação de duas lentes. Em seguida, inverta a ordem das lentes. Efectue o traçado dos raios.
6. Coloque a lente convexa no caminho do feixe luminoso. Bloqueie os três raios centrais com um objecto opaco, e marque a posição do foco obtida pelo cruzamento dos dois raios exteriores. Em seguida, bloqueie os dois raios exteriores (ou desloque a tampa de plástico, de modo a obter apenas 3 raios) e marque a posição do foco obtida para os três raios mais internos. Os dois pontos coincidem?
7. Se dispuser de uma segunda lente convexa, coloque ambas no caminho do feixe de cinco raios luminosos. Compare a qualidade do foco destas duas lentes com a do foco de uma única lente. Os cinco raios convergem todos no mesmo ponto?



EXPERIÊNCIA 7: LENTE OCA

Equipamento necessário:

- Fonte de luz
- Lente oca (do kit de raios ópticos)
- Caixa de arrumação componentes do kit de raios ópticos (retire a esponja do interior)
- Folha de plástico branca que está na caixa de raios ópticos

Outros equipamentos:

- Água
- Pano de limpeza
- Um pequeno peso para evitar que a lente oca flutue

OBJECTIVO

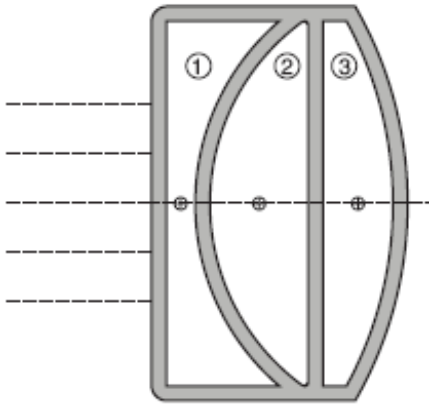
Nesta experiência irá explorar como as propriedades das lentes estão relacionadas com a sua forma, o seu índice de refracção e o índice de refracção de um meio envolvente.

Teoria

Uma lente convencional é fabricado em material cujo índice de refracção é superior que o meio envolvente. Por exemplo, as lentes de uns óculos são usualmente feitos de vidro ou plástico com um índice de refracção de 1,5 ou superior, enquanto o ar envolvente das lentes tem um índice de 1,0. No entanto, uma lente pode ter igualmente um índice de refracção *menor* que o meio envolvente, como é o caso da lente oca "cheia de ar" e rodeada por água (o índice de refracção da água é de cerca de 1,3).

A lente oca desta experiência tem três secções internas: secção plano côncava e duas secções plano-convexo. Essas secções serão numeradas de 1, 2 e 3 tal como mostra a figura ao lado.

Irá determinar qual das secções actua como uma lente divergente ou convergente quando a) é cheia com água num meio envolvente de ar e b) cheio com ar num meio envolvente de água.



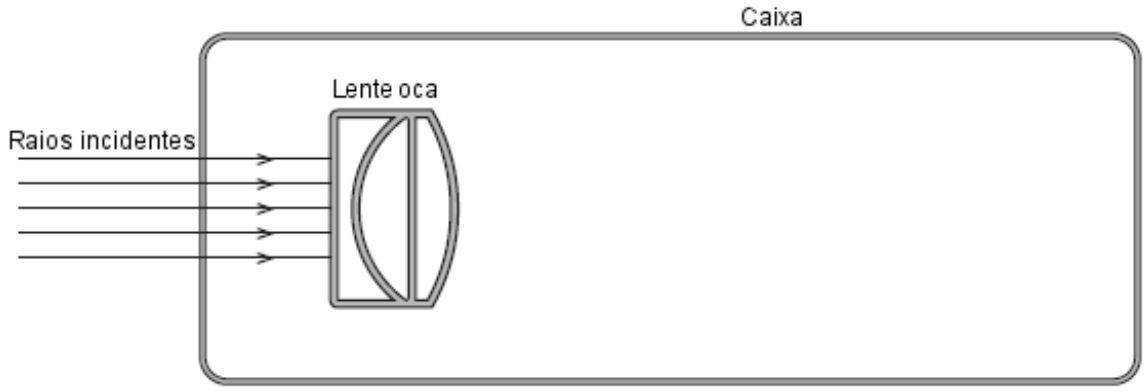
Procedimento

1. Antes de estudar a lente oca, faça as seguintes suposições: para cada configuração na tabela 7.1, preveja se os raios de luz paralelos irão convergir ou divergir depois de passarem através da lente. Registe as suas previsões na tabela;
2. Coloque a fonte de luz sobre uma folha de papel branca. Faça com que a fonte projecte 5 raios de luz paralelos;
3. Encha a secção 1 com água e coloque a lente em frente da fonte de luz de modo a que os raios paralelos entrem através da secção plana. Os raios convergem ou divergem quando passam através da lente. Registe as observações na tabela 7.1;
   Repita este passo enchendo com água nas diferentes secções da lente e complete a tabela de observações.

Tabela 7.1.: registe de observações

Lente rodeada com:	Secção 1 cheia com:	Secção 2 cheia com:	Secção 3 cheio com:	Previsão (convergente ou divergente)	Observação (convergente ou divergente)
Ar	Água	Ar	Ar		
	Ar	Água	Ar		
	Ar	Ar	Água		
	Água	Ar	Água		
Água	Ar	Água	Água		
	Água	Ar	Água		
	Água	Água	Ar		

4. Coloque a folha de plástico branco na caixa de arrumação do kit de raios ópticos. Coloque a lente oca na caixa por cima da folha tal como mostra a figura abaixo. Coloque um pequeno peso na parte de cima da lente para que este não flutue. Coloque a fonte de luz na parte exterior da caixa de modo que os raios de luz paralela passem através da lente oca pela face plana.



5. Enche agora a caixa com água mas de maneira a não entrar nenhuma água para dentro da lente oca. Enche as secções 2 e 3 da lente oca com água (deixando a secção 1 “cheia de ar”). Registe as suas observações na tabela 7.1.

Questionário

1. Em que condições a lente plano convexa é convergente? E divergente?
2. Se uma lente plano-côncava de um material desconhecido é uma lente divergente quando o meio envolvente é ar, é possível saber se a lente será divergente ou convergente quando está dentro de água? Explique a sua resposta.

EXPERIÊNCIA 8: EQUAÇÃO DOS FABRICANTES DE LENTES

Equipamento necessário:

- Fonte de luz
- Lente côncava
- Régua

OBJECTIVO

Determinar a distância focal de uma lente convexa através de medição directa e recorrendo à equação dos fabricantes de lentes.

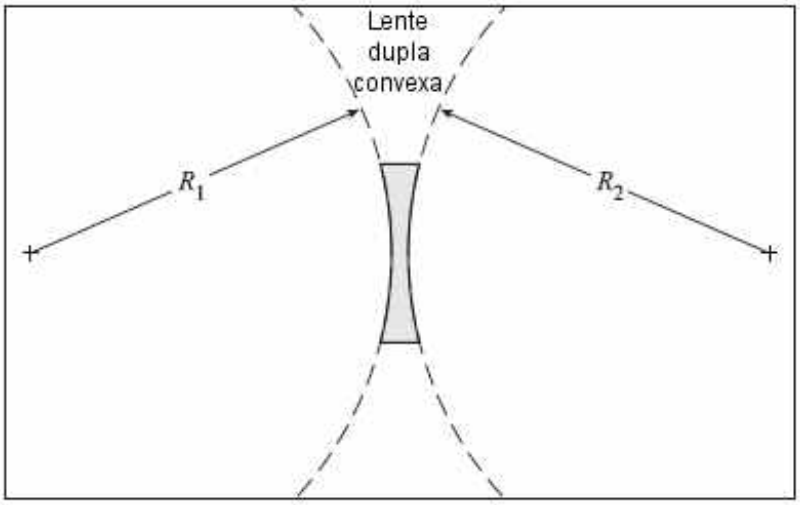
Teoria

A equação dos fabricantes de lentes é usada para calcular a distância focal de uma lente com base no raio de curvatura das suas superfícies e no índice de refracção do material.

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

Onde *f* é a distância focal, *n* é o índice de refracção relativo do material que constitui a lente, e R_1 e R_2 são os raios de curvatura das superfícies da lente.

NOTA: Nesta notação, *R* é positivo para uma superfície convexa (observada do lado de fora da lente) e é negativo para uma superfície côncava. Ver Fig. 7.1.

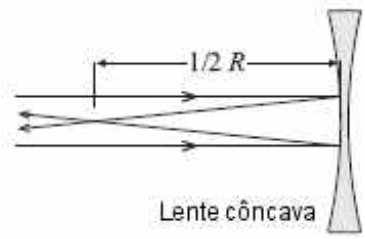


Procedimento

1. Coloque a fonte de luz sobre uma folha de papel. Ajuste-a para cinco raios de luz branca, e faça-os incidir através da lente côncava.
2. Desenhe o contorno da lente, e trace o raio incidente e transmitido. Indique o sentido de propagação usando setas com sentidos apropriados.
3. Retire a lente. Para medir a distância focal, use uma régua para prolongar os raios divergentes para trás, através da lente. O foco é obtido pela intersecção desses prolongamentos. Meça a distância do centro da lente ao foco. Registe o resultado:

f = _____

4. Para determinar o raio de curvatura, volte a colocar a lente côncava no caminho do feixe luminoso, e observe os ténues raios reflectidos pela primeira superfície da lente. A frente da lente pode ser encarada como um espelho côncavo com raio de curvatura igual ao dobro da distância focal correspondente. Desenhe o contorno da lente e trace os raios incidentes e reflectidos. Meça a distância do centro da superfície curva ao ponto onde os ténues raios reflectidos convergem. Ver figura. O raio de curvatura da superfície é o dobro desta distância. Registe o raio de curvatura:



R = _____

5. Note que a lente é simétrica e não é necessário medir a curvatura de ambos os lados, porque *R* é igual para ambos. Calcule a distância focal da lente usando a equação dos fabricantes de lentes. O índice de refracção é 1,5 para o acrílico. Recorde que uma superfície côncava tem um raio de curvatura negativo.

f = _____

6. Calcule a percentagem de erro entre os dois valores da distância focal da lente côncava.

% erro = _____

EXPERIÊNCIA 9: PROFUNDIDADE APARENTE

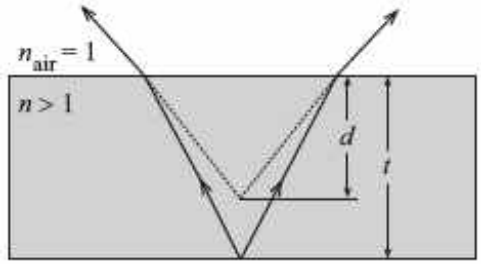
Equipamento necessário:
- Fonte de luz
- Lente convexa
- Romboedro
- Espelho (do kit de raios ópticos)

Outros equipamentos:
- Régua
- Objecto opaco

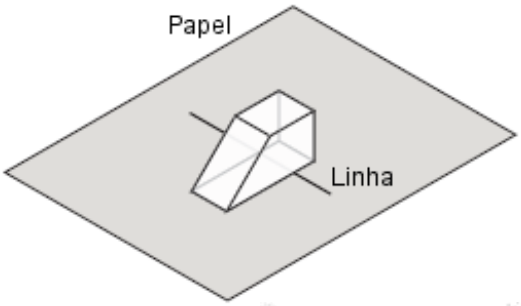
PARTE I: Método paralaxe

OBJECTIVO
Determinar o índice de refracção através da profundidade aparente.

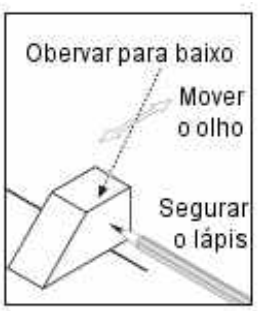
Teoria
Os raios luminosos provenientes do fundo de um bloco de material transparente, refractam-se na superfície superior, ao emergir do material para o ar. Quando se olha de cima, a profundidade aparente, *d*, a que se encontra a superfície inferior do bloco, é menor do que a espessura real, *e*, do bloco. A profundidade aparente é dada por $d = e / n$, em que *n* é o índice de refracção do material.



Procedimento
1. Coloque uma folha de papel banco. Faça uma linha recta com um lápis no centro da folha. Coloque o romboedro por cima da linha que desenhou tal como mostra a figura ao lado;
2. Com ambos os olhos observe a partir de cima do romboedro. A linha parece-lhe estar mais próxima dos seus olhos? Feche um dos olhos e mova a sua cabeça um pouco para o lado. Consegue ver a paralaxe entre a linha que vê através do romboedro e a linha desenhada fora do romboedro?



3. Neste passo ira segurar o lápis próximo do romboedro para determinar a posição da linha aparente. Quando o lápis e a linha aparente estão à mesma distância dos seus olhos, não existe paralaxe entre eles. Enquanto olha para baixo através do romboedro (apenas com um olho), segure um lápis muito afiado como mostra a figura ao lado de modo a parecer que esteja alinhado com a linha no interior do romboedro. Mova a sua cabeça para a direita e para a esquerda para verificar a paralaxe, marcando de seguida esse ponto.



Análise
1. Meça a distância do *topo* do romboedro até à marca que fez com o lápis. Registe a profundidade aparente, como *d*, na tabela 9.1.
2. Meça a espessura, *e*, do romboedro e registe na tabela 9.1.
3. Use a equação $d = e / n$ para calcular o índice de refracção e registe o resultado na tabela 9.1.

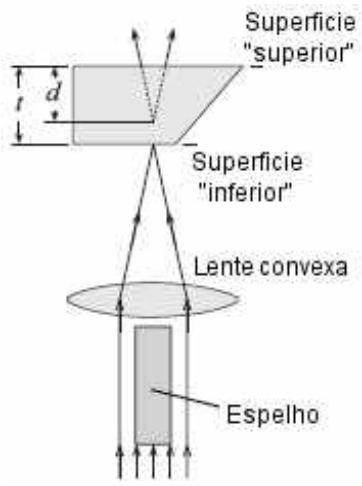
Tabela 9.1: resultados

	d	*e*	*n*
Parte 1: método paralaxe			
Parte 2: método de desenho			

PARTE 2: Método de desenho

Procedimento

1. Coloque a fonte de luz sobre uma folha de papel branco. Ajuste-a para projectar cinco raios de luz branca paralelos e faça-os incidir sobre a lente convexa. Com a ajuda do espelho do kit de raios ópticos, bloqueie os três raios luminosos mais internos (centrais), deixando passar apenas os dois raios exteriores, tal como mostra a figura ao lado mas ainda sem o romboedro).
2. Assinale o ponto onde os dois raios se intersectam.
3. Coloque o romboedro, servindo de lâmina de faces paralelas, na posição indicada na figura. A superfície inferior do romboedro deve tocar exactamente no ponto onde os dois raios se cruzam. Estes raios assumem o papel dos raios que emergem do fundo do bloco, tal como discutido na teoria.
4. Desenhe o contorno do romboedro e trace os raios que divergem da sua superfície.
5. Retire o romboedro, desligue a fonte de luz, e desenhe os prolongamentos dos raios divergentes no interior do bloco. O ponto em que estes se encontram (dentro do bloco) é a posição aparente do fundo do bloco, quando visto de cima.



Análise

Meça a profundidade aparente, *d*, e a espessura, *e*.

d = _____

e = _____

Calcule o índice de refracção do material, usando a expressão $n = e / d$.

n = _____

Calcule a percentagem de erro entre o valor medido e o valor aceite (*n* = 1,5).

% erro = _____

Questionário

1. Dos dois métodos usados para determinar *d* qual foi o mais preciso?
2. O valor aceite para o índice de refracção do acrílico é de n = 1,49. Qual foi a diferença percentual entre o valor aceite e cada um dos resultados por si obtidos?

EXPERIÊNCIA 10: REVERSIBILIDADE

Equipamento necessário:

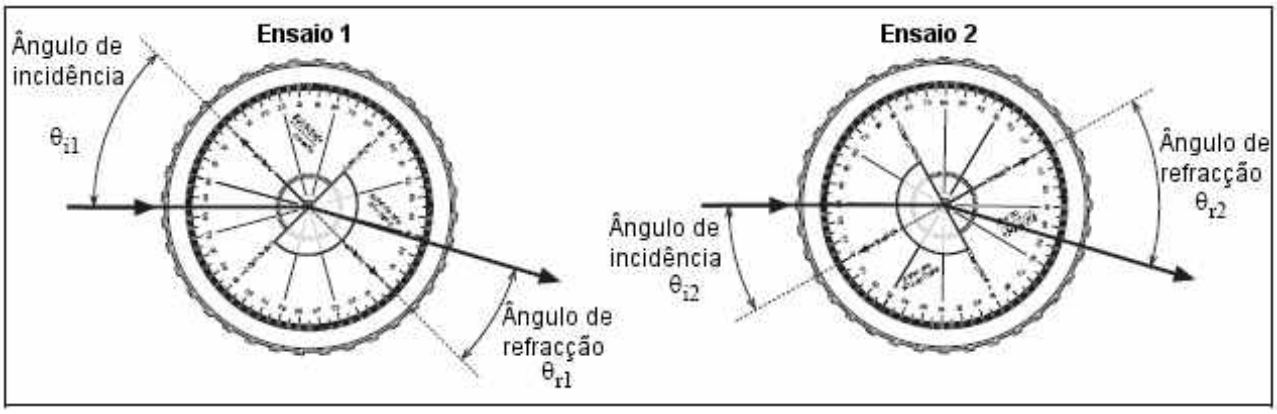
- Mesa de raios ópticos
- Lente D
- Fonte de luz

OBJECTIVO

No Ensaio 1 desta experiência, irá determinar a relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de refracção da luz que passa do para ar para dentro de meio óptico mais denso (a lente de acrílico em forma de D).

No ensaio 2, irá determinar se a mesma relação se mantém entre os ângulos de incidência e de refracção para a luz que passe através de um meio óptico denso para o exterior. Ou seja, se a luz viaja na direcção oposta através da lente, a lei da refracção é a mesma ou é diferente? Comparando os resultados de ambos os ensaios, irá encontrar a resposta desta questão.

Na figura 10.1 repare que a refracção ocorre apenas na superfície lisa da lente em forma de D e não na superfície curva.



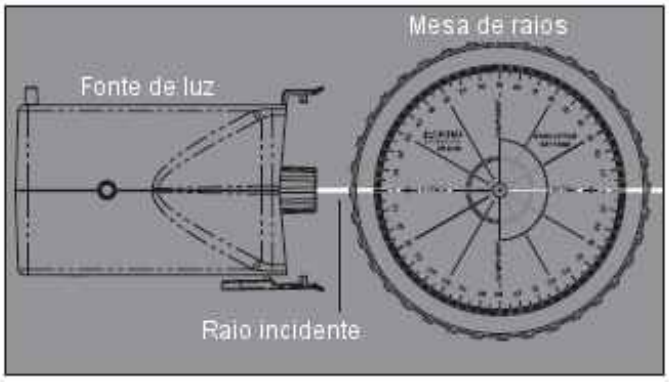
Procedimento

1. Coloque a fonte de luz projectando apenas um raio de luz branca e sobre uma superfície lisa;
2. Coloque a mesa de raios em frente da fonte de luz de modo a que o raio atravesse exactamente o centro;
3. Coloque a lente em forma de D na mesa de raios exactamente no sítio marcado;

Registo de dados

Ensaio 1

1. Coloque a mesa de raios e modo a que o raio de luz entre na lente através da superfície lisa;
2. Rode a mesa de raios para o ângulo de incidência de cada um dos valores definidos na primeira coluna na tabela 10.1. Para cada ângulo de incidência (θ_{i1}), observe o ângulo de refracção correspondente (θ_{rl}) e registe o valor na segunda coluna da tabela.



Ensaio 2

1. Copie todos os valores da segunda coluna para a terceira coluna na tabela (por outras palavras, os ângulos de refracção que observou no ensaio 1 serão os ângulos de incidência que uso no ensaio 2);
2. Rode a mesa de raios de modo que o raio de luz entre na lente através da superfície *curva*;
3. Para os ângulos de incidência (θ_{i2}) que escreveu na terceira coluna da tabela, observe os ângulos de refracção correspondentes (θ_{r2}) e registe-os na quarta coluna.

Tabela 10.1: Resultados

Ensaio 1 **Raio incidente na face lisa**		**Ensaio 2** **Raio incidente na face curva**	
Ângulo de incidência θ_{i1}	Ângulo de refracção θ_{rl}	Ângulo de incidência θ_{i2}	Ângulo de refracção θ_{r2}
0º			
10º			
20º			
30º			
40º			
50º			
60º			
70º			
80º			

Análise

1. Usando os valores de θ_{i1} e θ_{rl} e ainda a Lei de Snell, determine o índice de refracção do acrílico ($n_{acrílico}$). Assuma que o índice de refracção do ar é (n_{ar}) 1.0;
2. Determine novamente $n_{acrílico}$ desta vez usando os valores de θ_{i2} e de θ_{r2}:

Questionário

1. A lei da refracção é a mesma para os raios de luz que atravessam em ambas as direcções dos dois meios ópticos?
2. Mantêm-se o princípio da reversibilidade óptica quer para a reflexão quer para a refracção? Explique.

EXPERIÊNCIA 11: DISPERSÃO

Equipamento necessário

- Mesa de raios
- Lente D
- Fonte de luz

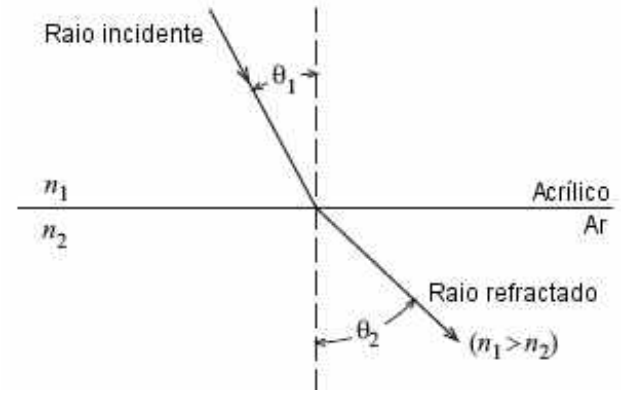
OBJECTIVO

O objectivo desta experiência é determinar o índice de refracção do acrílico em dois comprimentos de onda diferentes.

Teoria

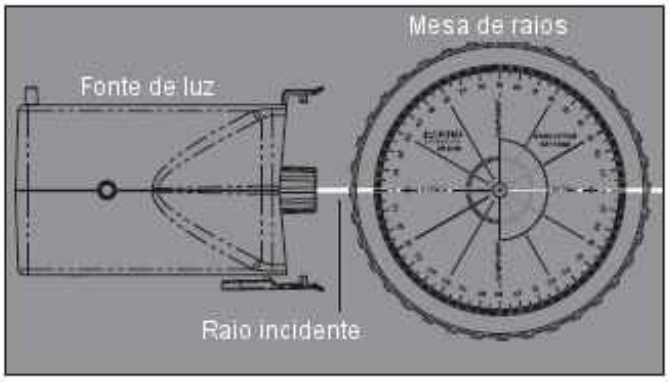
Quando a luz atravessa a fronteira entre dois meios transparentes, é reflectida. A Lei de Snell expressa a relação entre índice de refracção do primeiro meio (n_1), o índice de refracção do segundo meio (n_2), o ângulo de incidência (θ_1) e o ângulo de refracção (θ_2).
Podemos assumir que o índice de refracção do ar (nesta experiência n_2) é sempre igual a 1.0. No entanto, o índice de refracção do acrílico (n_1) depende do comprimento de onda, ou cor, da luz. Logo, os diferentes comprimentos de onda do raio incidente da luz branca serão refractados a ângulos diferentes. A dependência do comprimento de onda do índice de refracção de um material chama-se dispersão.

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$



Montagem

1. Coloque a fonte de luz projectando apenas um raio de luz branca e sobre uma superfície lisa;
2. Coloque a mesa de raios em frente da fonte de luz de modo que o raio de luz passe exactamente através do centro da mesa de raios (ver figura);
3. Coloque a lente em forma de D na mesa de raios e no local ali assinalado. O raio de luz deverá entrar através da face curva da lente e o ângulo de incidência será 0º.



Procedimento

1. Segure uma folha de papel branco perto da borda da mesa de raios de modo a que o raio de luz seja visível na folha;
2. Lentamente rode a mesa de raios para aumentar o ângulo de incidência. Repare que o raio de luz é refractado apenas na superfície lisa da lente e não na superfície curva. Enquanto continua a aumentar o ângulo de incidência, observe a luz refractada no papel.

Análise

1. A que ângulo de refracção começa a reparar na separação de cores na luz refractada?
2. A que ângulo de refracção ocorre a máxima separação de cor?
3. Que cores estão presentes no raio refractado? (escreva-os na ordem de ângulo máximo de refracção para mínimo);
4. Use a equação da Lei de Snell para calcular o índice de refracção do acrílico para a luz vermelha ($n_{vermelha}$) e o índice de refracção da luz azul (n_{azul}).

EXPERIÊNCIA 12: DISTÂNCIA FOCAL E AMPLIAÇÃO DE UMA LENTE DELGADA

Equipamento necessário:
- Fonte de luz
- Banco de óptica
- Lente convergente de distância focal desconhecido
- Ecrã

Outros equipamentos adicionais:
- Régua ou fita métrica
- Craveira óptica Pasço (opcional para medida do tamanha das imagens), modelo OS-8468

OBJECTIVO
O objectivo desta experiência é determinar a distância focal de lentes finas e de medir a ampliação para uma combinação de um objecto e distância de imagem.

Teoria
Para a lente fina:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_0} + \frac{1}{d_i}$$

Em que *f* é a distância focal, d_0 a distância entre o objecto e a lente e d_i é a distância entre a imagem e a lente. Medindo d_0 e d_i pode ser determinado a distância focal.
Ampliação, *M*, é a taxa entre o tamanho da imagem e o tamanho do objecto. Se a imagem é invertida, *M*, é negativo.

Parte 1: objecto ao infinito
Nesta parte da experiência irá determinar a distância focal de uma tente fazendo uma medida simples de d_i com $d_0 = \infty$.

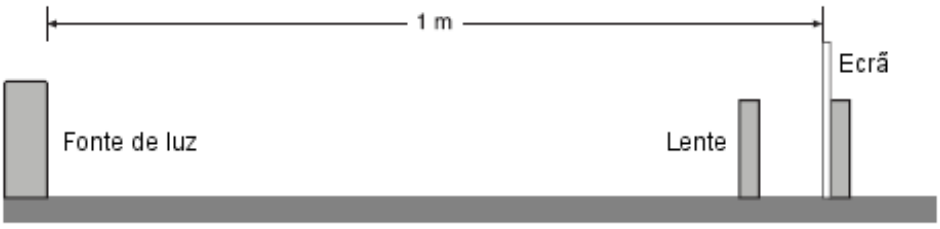
Procedimento
1. Segure a lente numa mão e o ecrã noutra. Foque a imagem de um objecto brilhante distante (tal como uma janela ou lâmpada) no ecrã;
2. Peça a um colega para medir a distância desde a lente ao ecrã. Esta é a distância de imagem d_i

d_i = _____

Análise
1. Enquanto d_0 se aproxima do infinito, a que é que $1/d_0$ se aproxima?
2. Use a fórmula da lente fina para calcular a distância focal:

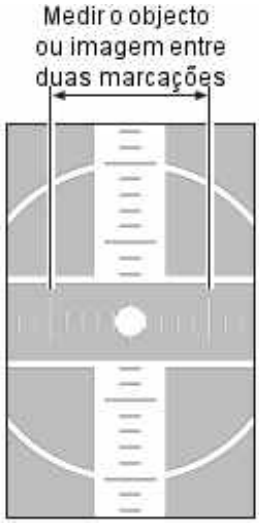
f = _____

Parte 2: objecto próximo do infinito
Nesta parte da experiência irá determinar a distância focal através da medida de diversos pares de objectos e distância de imagens e fazer um gráfico de $1/d_0$ em função de $1/d_i$



Procedimento

1. Coloque a fonte de luz e o ecrã no banco de óptica 1 m distanciado da fonte de luz apontando o objecto em forma de cruz para o ecrã. Coloque a lente entre ambas as peças;
2. Comece com a lente próxima do ecrã, afaste depois a lente do ecrã para uma posição tal que começa a formar a imagem da cruz no ecrã. Meça a distância da imagem e a distância do objecto. Registe os valores;
3. Meça o tamanho do objecto e o tamanho da imagem para esta posição da lente;
4. Sem mover o ecrã ou a fonte de luz, mova a lente para uma segunda posição em que a imagem esteja bem focada. Meça novamente a distância da imagem e do objecto;
5. Meça o tamanho do objecto e o tamanho da imagem para esta posição. Note que não irá observar a totalidade da cruz. Em vez disso, meça os tamanhos da imagem e do objecto como a distância entre duas marcas visíveis na cruz (ver exemplo da imagem ao lado);
6. Repita os passos 2 e 4 com a distância fonte de luz e ecrã de 90 cm, 80 cm, 70 cm, 60 cm e 50 cm. Para cada distância, encontre duas posições da lente em que formem imagens claras (não vai necessitar de tirar medidas).



Análise, parte A: distância focal

1. Calcule $1/d_0$ e $1/d_i$ para as 12 linhas da tabela de dados 12.1;
2. Faça um gráfico de $1/d_0$ em função de $1/d_i$ e determine o melhor ajuste de curva (ajuste linear). Desse modo irá obter uma linha recta com a intercepção x e y igual a $1/f$. Registe esse valor:

Intercepção de y = $1/f$ = _____

Intercepção de x = $1/f$ = _____

Tabelas 12.1: distâncias de imagem e do objecto

Distância da fonte de luz ao ecrã	d_0	d_i	$1/d_0$	$1/d_i$	Tamanho da imagem	Tamanho do objecto
100 cm						
90 cm						
80 cm						
70 cm						
60 cm						
50 cm						

3. Para cada intercepção, calcule o valor de *f* e registe na tabela 12.2;
4. Determine a diferença percentual entre esses dois valores de *f* e registe na tabela 12.2;
5. Faça uma média de *f*. Determine a diferença percentual entre essas médias e a distância focal que determinou na parte 1. Registe esses dados na tabela 12.2.

Tabela 12.2: distância focal

	f
Resultado da intercepção x	
Resultado da intercepção y	
Diferença percentual entre resultados da intercepção	
Média	
Resultado da parte 1	
Diferença percentual entre resultados da intercepção e a o resultado da parte 1	

Análise, parte B: ampliação.

1. Apenas para os primeiros dois pontos de dados (as primeiras duas linhas da tabela 12.1), use a imagem e a distância do objecto para calcular a ampliação, *M*, a cada posição da lente. Registe o valor na tabela 12.3;

$$M = -\left(\frac{d_i}{d_0}\right)$$

2. Calcule o valor absoluto de *M* (para cada duas posições da lente) use as suas medidas do tamanho da imagem e do tamanho do objecto. Registe os valores na tabela 12.3;

$$|M| = \frac{imagem}{objecto}$$

3. Calcule a diferença percentual entre os valores absolutos de M encontrados usando os dois métodos. Registe o valor na tabela 12.3.

Tabelas 12.3: ampliação

	Ponto 1	**Ponto 2**
M calculado da distância do objecto e da imagem		
M calculado dos tamanhos da imagem e do objecto		
Diferença percentual		

Questionário

1. A imagem formada está direita ou invertida?
2. A imagem é real ou virtual? Como é que sabe?
3. Explique porque, e para uma dada distância do ecrã ao objecto, existem duas posições em que se formam 2 imagens distintas.
4. Observando a imagem, como pode afirmar que a ampliação é negativa?
5. Fez três determinações separadas de *f* (medindo directamente com a distância ao objecto, da intercepção com o x do gráfico e com a intercepção do y). Em que são iguais estes três valores? Se não forem, o que deve ser tomado em conta para a variação?

EXPERIÊNCIA 13: COMPRIMENTO FOCAL E AMPLIAÇÃO DE UM ESPELHO CÔNCAVO

Equipamento necessário:
- Fonte de luz
- Banco de óptica
- Espelho côncavo / convexo;
- Meio ecrã

Outros equipamentos adicionais:
- Régua ou fita métrica
- Craveira óptica Pasço (opcional para medida do tamanha das imagens), modelo OS-8468

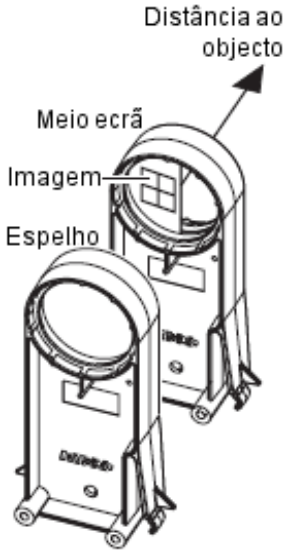
OBJECTIVO
O objectivo desta experiência é de determinar a distância focal de um espelho côncavo e medir a ampliação de uma combinação de distâncias de imagem e objecto.

Teoria
Para um espelho curvo esférico:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_0} + \frac{1}{d_i}$$

Em que *f* é a distância focal, d_0 a distância entre o objecto e o espelho e d_i a distância entre a imagem e o espelho. Através da medida de d_0 e d_i pode-se determinar a distância focal.
A ampliação, *M*, é a taxa do tamanho da imagem em relação ao tamanho do objecto. Se a imagem estiver invertida, *M*, é negativo.

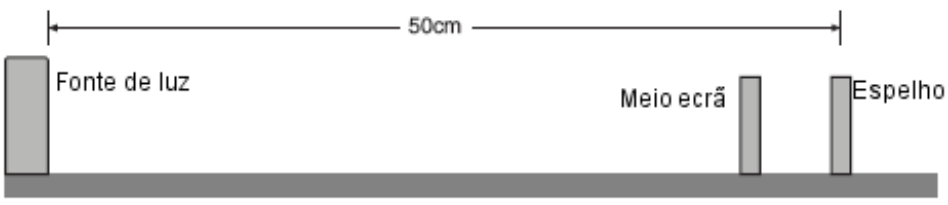
Parte I: Objecto ao infinito
Nesta parte irá determinar a distância focal do espelho fazendo uma medida simples de d_i com $d_0 \cong \infty$.



Procedimento
1. Segure com uma mão o espelho e o meio ecrã com a outra mão. Use o lado côncavo do espelho para focar a imagem de um objecto brilhante *distante* (tal como uma janela ou uma lâmpada no outro lado da sala) no meio ecrã.
2. Solicite a um colega para medir a distância do espelho ao ecrã. Esta é a distância de imagem d_i:
   d_i = _____

Análise
1. Quando d_0 se aproxima do infinito, o que acontece a $1/d_0$?
2. Use a equação anterior para calcular a distância focal.
   f = _____

Parte II: Objecto mais próximo que o infinito
Nesta parte, irá determinar a distância focal do espelho ao medir vários pares de objectos e distâncias de imagem e fazer um gráfico de $1/d_0$ versus $1/d_i$.



Procedimento

1. Coloque a fonte de luz e o espelho no bano de óptica, a 50 de distância um do outro, com a fonte de luz a projectar o objecto em forma de cruz em direcção ao espelho e com o lado côncavo do espelho virado para a fonte de luz. Coloque o meio ecrã entre as duas peças, tal como mostra a figura anterior.
2. Rode o meio ecrã para uma posição em seja formada uma imagem clara do objecto. Meça a distância da imagem e a distância do objecto. Registe as medidas na tabela 13.1.
3. Repita os passos anteriores para distâncias de 45, 40, 35, 30 e 25 cm.
4. Com o espelho a 25 cm da fonte de luz e com uma imagem clara formada no meio ecrã, meça o tamanho do objecto e o tamanho da imagem. Para medir o tamanho da imagem, segure um pequeno pedaço de papel contra o meio ecrã e marque dois pontos opostos no padrão em forma de cruz. Se não estiver visível pelo menos peio padrão no ecrã, peça um colega para com cuidado torcer o espelho para trazer a imagem visível. Remova o papal e meça a distância entre os dois pontos. Meça o tamanho do objecto entre os pontos correspondentes directamente na fonte de luz.

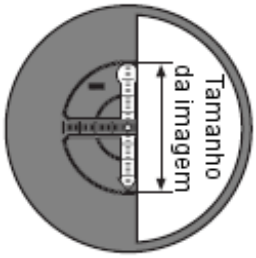


Tabela 13.1: Distâncias do objecto e imagem

d_0	d_i	$1/d_0$	$1/d_i$	Tamanho da imagem	Tamanho do objecto
50 cm					
45 cm					
40 cm					
35 cm					
30 cm					
25 cm					

Análise parte A: distância focal

1. Calcule $1/d_0$e $1/d_i$ para as 6 linhas da tabela 13.1.
2. Faça um gráfico de $1/d_0$ em função de $1/d_i$ e determine o melhor ajuste (ajuste linear). Isto dar-lhe-á uma linha recta com a intercepção em x e y igual a 1/f. Registe as intercepções:
   Intercepção y: _____;
   Intercepção x: _____;
3. Para cada intercepção, calcule o valor de *f* e registe na tabela 13.2.
4. Determine a diferença percentual entre estes dois valores de *f* e registe na tabela 13.2;
5. Determine a média desses dois valores de *f*. Determine a diferença percentual entre as duas médias e a distância focal que encontrou na parte I. Registe o valor na tabela 13.2.

Tabela 13.2: Distância focal

	f
Intercepção x	
Intercepção y	
Diferença percentual entre as intercepções	
Média dos resultados das intercepções	
Resultado na parte I	
Diferença percentual entre a média intercepções e a parte I	

Análise parte B: ampliação

1. Para apenas o ultimo ponto (d_0 = 25 cm), use a imagem e a distância do objecto para calcular a ampliação, *M*. Registe na tabela 13.3;

$$M = -\left(\frac{d_0}{d_i}\right)$$

2. Calcule o valor absoluto de *M* usado nas suas medições e o tamanho da imagem e o tamanho do objecto. Registe o valor na tabela 13.3.;

$$|M| = \frac{\text{Tamanho do objecto}}{\text{Tamanho da imagem}}$$

3. Calcule a diferença percentual entre os valores absolutos de *M* determinado usando os dois métodos. Registe o valor na tabela 13.3.

Tabela 13.3.: Ampliação

M calculado a partir das distâncias objecto e imagem	
$\|M\|$ calculado dos tamanhos da imagem e do objecto	
Diferença percentual	

Questionário

1. A imagem formada pelo espelho está direita ou invertida?
2. A imagem é real ou virtual? Como é que sabe?
3. Observando a imagem, como poderá afirmar que a ampliação é negativa?
4. Fez três determinações diferentes de *f*. Em que estes valores são iguais? Se não são, que poderá ser levado em conta para a sua variação?

EXPERIÊNCIA 14: IMAGENS VIRTUAIS

Equipamento necessário:
- Fonte de luz
- Banco de óptica
- Lente –150 mm
- Lente +200 mm

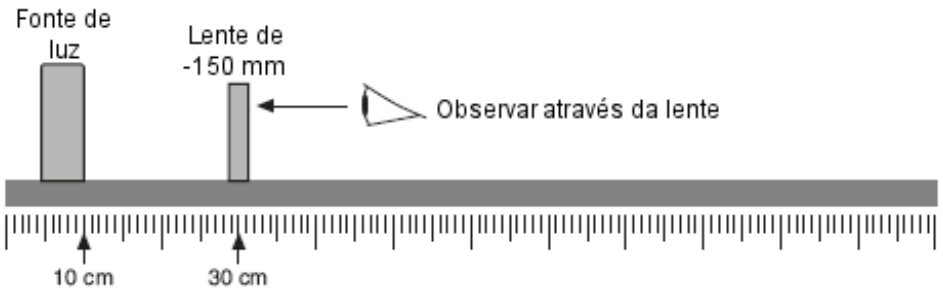
Outros equipamentos adicionais:
- Régua ou fita métrica

OBJECTIVO
Nesta experiência irá estudar imagens virtuais formadas pela divergência da lente e por um espelho convexo.

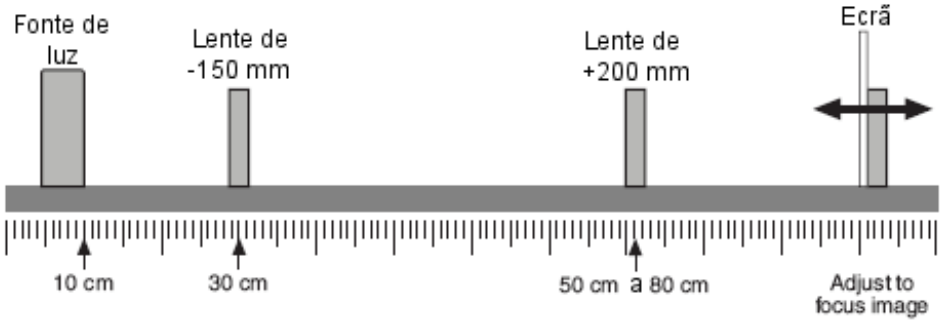
Teoria
Uma imagem virtual não pode ser observada num ecrã. Forma-se onde se cruzam os raios divergentes. Poderá observar uma imagem virtual observando através de uma lente ou espelho. Como todas as imagens, uma imagem virtual formada por uma lente ou espelho pode servir como objecto de outra lente ou espelho.

Parte I: Imagem virtual formada por uma lente divergente
Nesta parte, irá montar uma lente divergente para formar uma imagem virtual. Deste modo irá identificar a localização da imagem virtual.

Procedimento
1. Coloque a lente de –150 mm no banco na marca dos 30 cm;
2. Coloque a fonte de luz na marca dos 10 cm com o objecto em forma de cruz virada para a lente;
3. Registe a distância ao objecto, d_0, na tabela 14.1

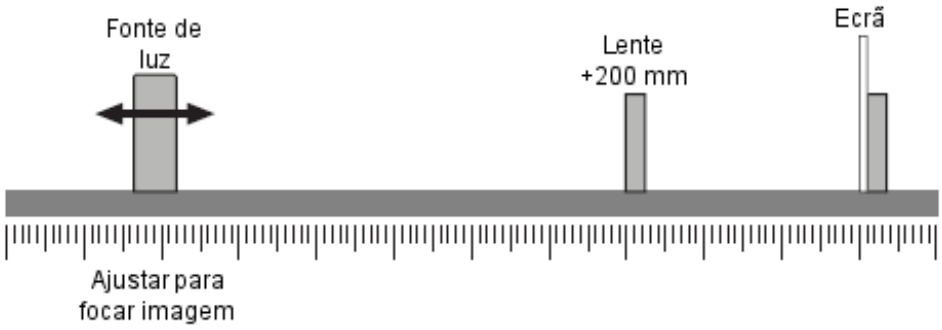


4. Observe através da lente e para a fonte de luz. Descreva a imagem. Está direita ou invertida? Parece ser maior ou mais pequena que o objecto?
5. O que parece estar mais próximo da lente: a imagem ou objecto? Porque?
6. Coloque a lente de +200 mm no banco em qualquer ponto entre 50 cm e 80 cm. Registe aqui:_____
7. Coloque o ecrã para lá da lente positiva. Deslize o ecrã para uma posição em que se forme uma imagem clara. Registe a posição aqui:_____



A imagem real que observa no ecrã é formada pela lente positiva com a imagem virtual (formada pela lente negativa). Nos passos seguintes, irá descobrir a localização da imagem virtual substituindo-a pela fonte de luz.

8. Remova a lente negativa do bano de óptica. O que acontece à imagem no ecrã?
9. Deslize a fonte de luz para uma nova posição de modo a se formar uma imagem clara no ecrã (não mexa na lente positiva ou no ecrã). Escreva a posição aqui:_____



Análise

A posição actual da fonte de luz é idêntica à posição anterior da imagem virtual.

1. Calcule a distância d_{i1}, da imagem virtual (distância entre a lente negativa e a imagem virtual). Lembre que é negativa. Registe o valor na tabela 14.1;
2. Calcule a ampliação e registe na tabela 14.1.

Tabela 14.1: Lente negativa

d_{01}	
di_1	
M_1	

Questionário

1. Como sabe que a posição da fonte de luz é idêntica à posição da imagem virtual quando esteve instalada a lente negativa?
2. No passo 5 do procedimento, previu a posição da imagem virtual relativa à fonte de luz. A sua previsão foi correcta?
3. M_1 é negativo ou positivo? Como é que essa relação aparece na imagem?
4. Desenhe um diagrama mostrando a fonte de luz na posição original, quer com ambas as lentes, quer com o ecrã e ambas as imagens. Legende cada parte.
5. Desenhe outro diagrama na mesma escala mostrando a fonte de luz na sua posição final, a lente positiva, o ecrã e a imagem.

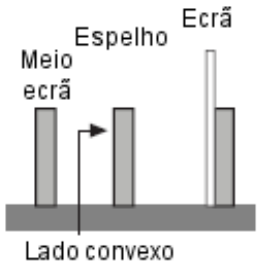
<u>Parte II: Imagem virtual formada por um espelho convexo</u>

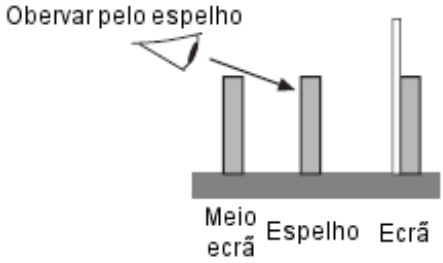
Nesta parte irá determinar a localização de uma imagem virtual formada por um espelho convexo.

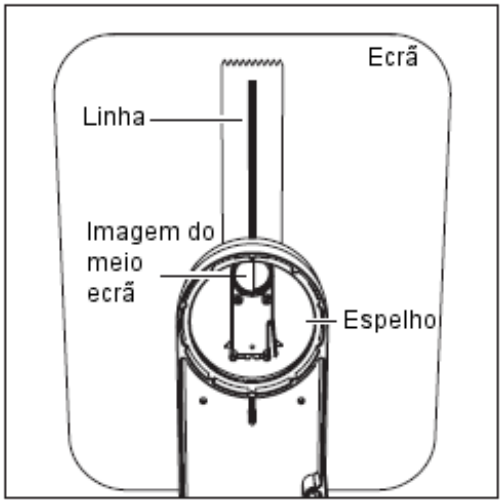
Procedimento

1. Coloque uma tira de fita-cola no ecrã e desenhe nela uma linha recta na vertical tal como mostra a figura ao lado;
2. Coloque o meio ecrã próximo de uma extremidade do banco de óptica. Rode a sua metade para ficar na vertical;
3. Coloque o espelho côncavo / convexo no banco a cerca de 20 cm do meio ecrã, com o lado convexo virado para o meio ecrã;

4. Observe através do meio ecrã para o espelho. Descreva a imagem do meio ecrã. Está direita ou invertida? Parece ser maior ou mais pequeno que o objecto?
5. Preveja onde está a imagem. Coloque o ecrã no banco nessa localização. Nos passos seguintes, irá ajustar a posição do ecrã de modo a estar na mesma posição da imagem virtual.
6. Observe através do meio ecrã de modo a que possa ver a imagem virtual do meio ecrã e desenhe uma linha no ecrã ao mesmo tempo.







7. Mova a sua cabeça para a direita e para a esquerda em alguns centímetros. Se a linha do ecrã e a imagem do meio ecrã não estão à mesma distância do seu olho, irão parecer que se movem um em relação ao outro. Este efeito chama-se paralaxe;
8. Ajuste a posição do ecrã e verifique de novo a paralaxe. Repita o passo anterior até não haver paralaxe entre a linha e a imagem. Quando move a sua cabeça, eles deverão parecer estar "colados" um ao outro.

Análise
O ecrã está agora na mesma posição da imagem virtual.

1. Registe a distância do objecto, d_0, na tabela 14.2;
2. Calcule a distância da imagem, d_i, (distância entre o espelho e a imagem virtual). Lembre que é negativa. Registe na tabela 14.2;
3. Use d_0 e d_i para calcular a ampliação e registe na tabela 14.2;

Tabela 14.2: Espelho convexo

d_{01}	
di_1	
M_1	

Questionário
1. A ampliação de d_i é maior ou menor que d_0? Se substituir o espelho convexo por um espelho plano, qual será a relação entre d_0 e d_i?
2. *M* é positivo ou negativo? Como parece ser esta relação na imagem?
3. Desenhe um diagrama mostrando o meio ecrã, o espelho, o ecrã e a imagem virtual. Legende cada parte do diagrama.

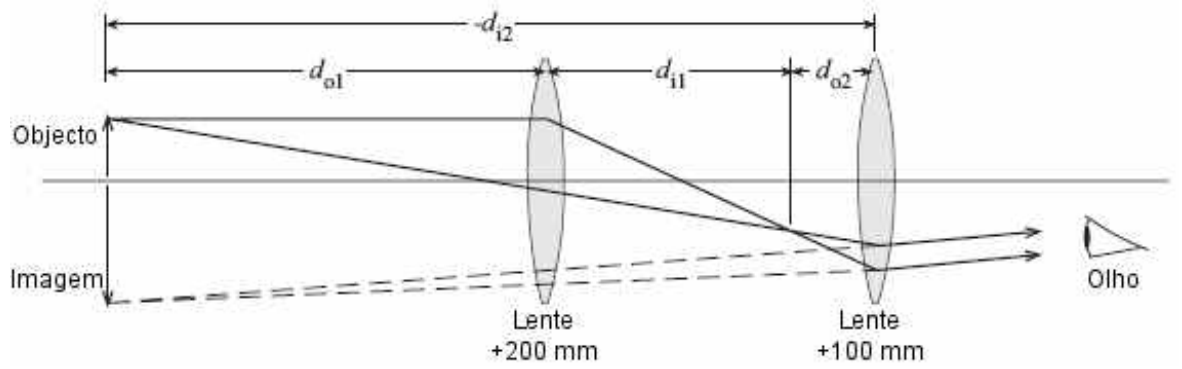
EXPERIÊNCIA 15: TELESCÓPIO

Equipamento necessário:
- Banco de Óptica
- 2 Lentes convexas
- Ecrã com papel quadriculado

Outros equipamentos:
- Régua

OBJECTIVO
Construir um telescópio e determinar a sua ampliação

Teoria



Um telescópio astronómico é construído com duas lentes convexas. O diagrama desta experiência indica que a imagem se encontra no mesmo plano que o objecto. Isto permite determinar a distância à imagem virtual. Para esta experiência, consideram-se as lentes como delgadas, quando comparadas com as distâncias envolvidas. Nesse caso, podemos usar a equação das lentes delgadas:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

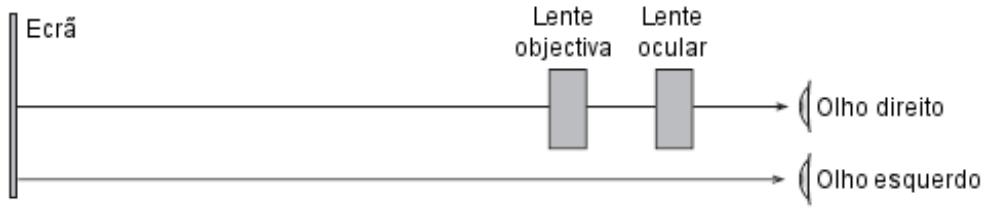
Sendo f a distância focal, d_o a distância entre o objecto e a lente e d_i a distância entre a imagem e a lente.
A ampliação de um sistema de duas lentes é igual ao produto das ampliações das duas lentes individuais:

$$M = M_1 M_2 = \left(\frac{-d_{i1}}{d_{o1}}\right)\left(\frac{-d_{i2}}{d_{o2}}\right)$$

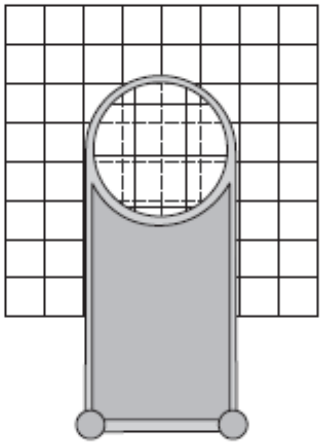
Montagem
1. Com fita adesiva ou “clips”, prenda o papel quadriculado ao ecrã. As quadrículas no ecrã servirão como objecto.
2. A lente de 200 mm é a objectiva (a que ficará perto do objecto). A lente de 100 mm é a ocular (a que ficará perto do olho). Coloque as lentes próximas de uma das extremidades do banco de óptica, e o ecrã na outra extremidade. Ver figura.

Procedimento

1. Foque a imagem do objecto (quadriculado no ecrã) movendo a objectiva (lente mais próxima do objecto). Para ver a imagem, deve aproximar um olho da lente ocular.



2. Elimine a paralaxe movendo a ocular até a imagem se encontrar no mesmo plano do objecto (ecrã). Para observar a paralaxe, abra ambos os olhos e olhe para a imagem, através da lente com um olho, e directamente com o outro. As linhas da imagem (mostradas a cheio na ampliação da figura) sobrepor-se-ão às linhas do objecto (mostradas a tracejado na ampliação da Figura 10.4) Mova a cabeça de trás para a frente e de cima para baixo. À medida que desloca a cabeça, as linhas da imagem mover-se-ão relativamente às linhas do objecto, devido à paralaxe. Para eliminar a paralaxe, desloque a lente ocular até que as linhas da imagem não se movam em relação às linhas do objecto, quando mexe a cabeça. Quando não existe paralaxe, as linhas do centro da lente parecem estar presas às linhas do objecto.



3. Com a paralaxe eliminada, a imagem virtual encontra-se no mesmo plano do objecto. Registe as posições da lente e do objecto na Tabela 10.1.
4. Meça a ampliação deste telescópio, contando o número de quadrados do objecto contidos num lado de um quadrado da imagem. Para o fazer, deve observar a imagem através do telescópio com um olho, e olhar directamente para o objecto com o outro. Registe a ampliação observada, na Tabela 10.1. Retire o ecrã e olhe através da lente ocular para um objecto distante, tal como uma régua graduada no outro extremo da sala. Elimine a paralaxe, e determine a ampliação. Quando se observa com o telescópio um objecto situado no infinito, a ampliação é a razão entre as distâncias focais das lentes. Verifique se isto é verdadeiro para o seu telescópio.

Análise

Para calcular a ampliação, siga os seguintes passos, e registe as respostas na Tabela 10.1.:

1. Determine d_{o1}, distância do objecto (quadriculado no ecrã) à objectiva.
2. Determine d_{i2}, distância da ocular à imagem. Dado que a imagem se encontra no plano do objecto, esta é também a distância da ocular ao objecto (ecrã).
3. Calcule d_{i1}, substituindo d_{o1} e a distância focal da objectiva, na fórmula das lentes delgadas.
4. Calcule d_{o2}, substituindo d_{i2} e a distância focal da ocular, na fórmula das lentes delgadas.
5. Calcule a ampliação, através da expressão:

$$M = M_1 M_2 = \left(\frac{-d_{i1}}{d_{o1}}\right)\left(\frac{-d_{i2}}{d_{o2}}\right)$$

6. Determine a percentagem de variação entre este valor e o valor observado.

Tabela 10.1 Resultados

Posição da Objectiva (200 mm)	
Posição da Ocular (100 mm)	
Posição do ecrã	
Ampliação Observada	
d_{o1}	
d_{i2}	
d_{i1}	
d_{o2}	
Ampliação Calculada	
% Variação	

Questionário

1. A imagem é invertida ou direita?
2. A imagem que se vê através do telescópio é real ou virtual?

ANÁLISES POSTERIORES

Imagem formada pela lente objectiva

Onde é formada a imagem pela lente objectiva? É real ou virtual? Use um candeeiro de mesa para iluminar a grelha. Segure uma folha de papel na vertical onde pensa que a imagem está. Vê a imagem? Está invertida ou direita? Remova a folha de papel e segure um lápis na mesma posição. Observe através da lente: irá ver duas imagens, uma do lápis e outra da grelha de papel. Ambas as imagens estão invertidas? Use a paralaxe para determinar a localização da imagem do lápis.

Objecto ao infinito

Remova o ecrã e observe através das lentes um objecto distante. Ajuste a distância entre as lentes e foque o telescópio. Estime a ampliação observada.

Calcule a ampliação tomando em conta a taxa da distância focal das lentes. Compare o resultado calculado da ampliação com a ampliação observada.

Como se relacionam a distância das lentes com as suas distâncias focais?

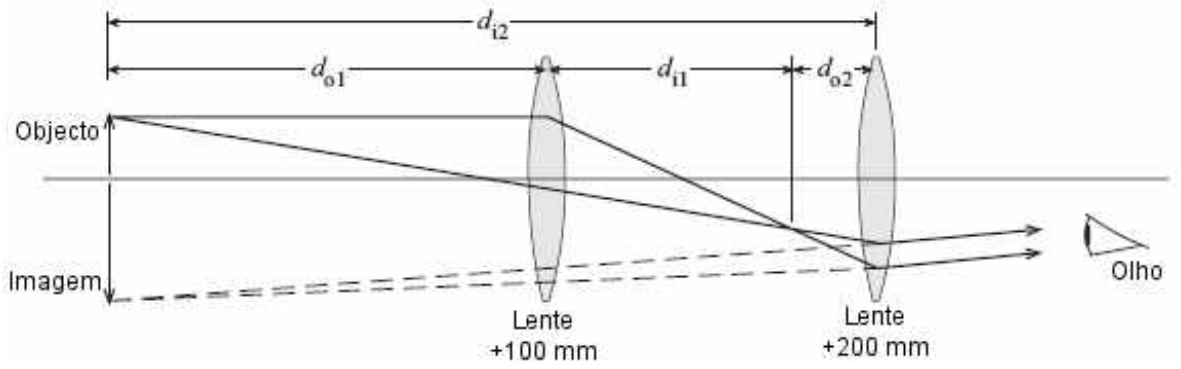
EXPERIÊNCIA 16: MICROSCÓPIO

Equipamento necessário:
- Banco de Óptica
- 2 Lentes convexas
- Ecrã com papel quadriculado (ver pág. 36)

Outros equipamentos:
- Régua

OBJECTIVO
Construir um microscópio e determinar a sua ampliação.

Teoria

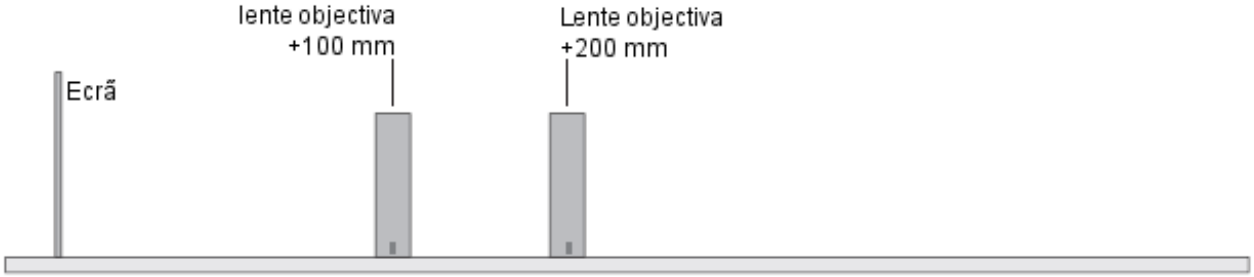


Um microscópio amplia um objecto próximo. O diagrama desta experiência (mostrado na Figura 11.1) indica que a imagem se encontra no mesmo plano do objecto. Isso permite determinar a distância à imagem virtual. Para esta experiência, considera-se que as lentes são delgadas, em comparação com as distâncias envolvidas. Assim, pode ser usada a fórmula das lentes delgadas. Esta equação afirma que $\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$

onde f é a distância focal, d_o é a distância entre o objecto e a lente e d_i é a distância entre a imagem e a lente. A ampliação do sistema de duas lentes é igual ao produto das ampliações das lentes individuais:

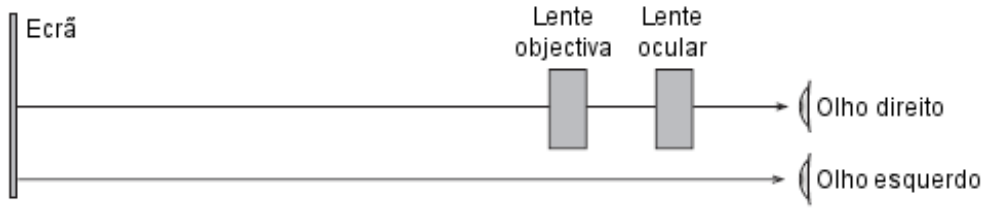
$$M = M_1 M_2 = \left(\frac{-d_{i1}}{d_{o1}}\right)\left(\frac{-d_{i2}}{d_{o2}}\right)$$

Montagem
1. Prenda o papel quadriculado ao ecrã, com fita adesiva ou “clips”. As quadrículas no ecrã servirão como objecto.
2. A lente de 100 mm é a objectiva (a que ficará perto do objecto). A lente de 200 mm é a ocular (a que ficará perto do olho). Coloque as lentes junto de uma das extremidades do banco de óptica, e o ecrã aproximadamente a meio. Ver Figura 11.2.



Procedimento

1. Foque a imagem do objecto (quadriculado no ecrã) movendo a objectiva ((lente mais próxima do objecto). Para ver a imagem, deve aproximar um olho da lente ocular.



2. Elimine a paralaxe movendo a ocular até a imagem se encontrar no mesmo plano do objecto (ecrã). Para observar a paralaxe, abra ambos os olhos e olhe para a imagem, através da lente com um olho, e directamente com o outro. Ver Figura 11.3. As linhas da imagem (mostradas a cheio na ampliação da Figura 11.4) sobrepor-se-ão às linhas do objecto (mostradas a tracejado na ampliação da figura) Mova a cabeça de trás para a frente e de cima para baixo. À medida que desloca a cabeça, as linhas da imagem mover-se-ão relativamente às linhas do objecto, devido à paralaxe. Para eliminar a paralaxe, desloque a lente ocular até que as linhas da imagem não se movam em relação às linhas do objecto, quando mexe a cabeça. Quando não existe paralaxe, as linhas do centro da lente parecem estar presas às linhas do objecto.

NOTA: Mesmo quando não existe paralaxe, as linhas podem aparentar mover-se próximo dos bordos da lente, devido a aberrações.

3. Com a paralaxe eliminada, a imagem virtual encontra-se no mesmo plano do objecto. Registe as posições da lente e do objecto na Tabela 11.1.
4. Meça a ampliação deste microscópio, contando o número de quadrados do objecto contidos num lado de um quadrado da imagem. Para o fazer, deve observar a imagem através do microscópio com um olho, e olhar directamente para o objecto com o outro. Registe a ampliação observada, na Tabela 11.1.

Análise

Para calcular a ampliação, siga os seguintes passos, e registe as respostas na Tabela 11.1.:

1. Determine d_{o1}, distância do objecto (quadriculado no ecrã) à objectiva.
2. Determine d_{i2}, distância da ocular à imagem. Dado que a imagem se encontra no plano do objecto, esta é também a distância da ocular ao objecto (ecrã).
3. Calcule d_{i1}, substituindo d_{o1} e a distância focal da objectiva, na fórmula das lentes delgadas.
4. Calcule d_{o2}, substituindo d_{i2} e a distância focal da ocular, na fórmula das lentes delgadas.
5. Calcule a ampliação, através da expressão:

$$M = M_1 M_2 = \left(\frac{-d_{i1}}{d_{o1}}\right)\left(\frac{-d_{i2}}{d_{o2}}\right)$$

6. Determine a percentagem de variação entre este valor e o valor observado.

Tabela 10.1 Resultados

Posição da Objectiva (100 mm)	
Posição da Ocular (200 mm)	
Posição do ecrã	
Ampliação Observada	
d_{o1}	
d_{i2}	
d_{i1}	
$_{o2}$	
Ampliação Calculada	
% Variação	

Questionário

1. A imagem é invertida ou direita?
2. A imagem que se vê através do microscópio é real ou virtual?

ANÁLISES POSTERIORES

Imagem formada pela lente objectiva

Onde é formada a imagem pela lente objectiva? É real ou virtual? Use um candeeiro de mesa para iluminar a grelha. Segure uma folha de papel na vertical onde pensa que a imagem está. Vê a imagem? Está invertida ou direita? Remova a folha de papel e segure um lápis na mesma posição. Observe através da lente: irá ver duas imagens, uma do lápis e outra da grelha de papel. Ambas as imagens estão invertidas? Use a paralaxe para determinar a localização da imagem do lápis.

Aumento de ampliação

Enquanto observa através do microscópio, mova a lente objectiva alguns centímetros perto do objecto. Que lado deve mover a lente ocular para manter a imagem focada? Até quão perto pode mover a lente objectiva e continuar a ter uma imagem clara? (Faça uma pequena marca com um lápis na grelha de papel para ter um objecto muito pequeno para observar). Qual é o limite teórico para quão eprto pode mover a lente objectiva?

EXPERIÊNCIA 15: SOMBRAS

Equipamento necessário:

- 2 Bancos de Óptica
- 2 Fontes de luz pontuais
- Ecrã

OBJECTIVO

Observar as zonas de sombra e de penumbra

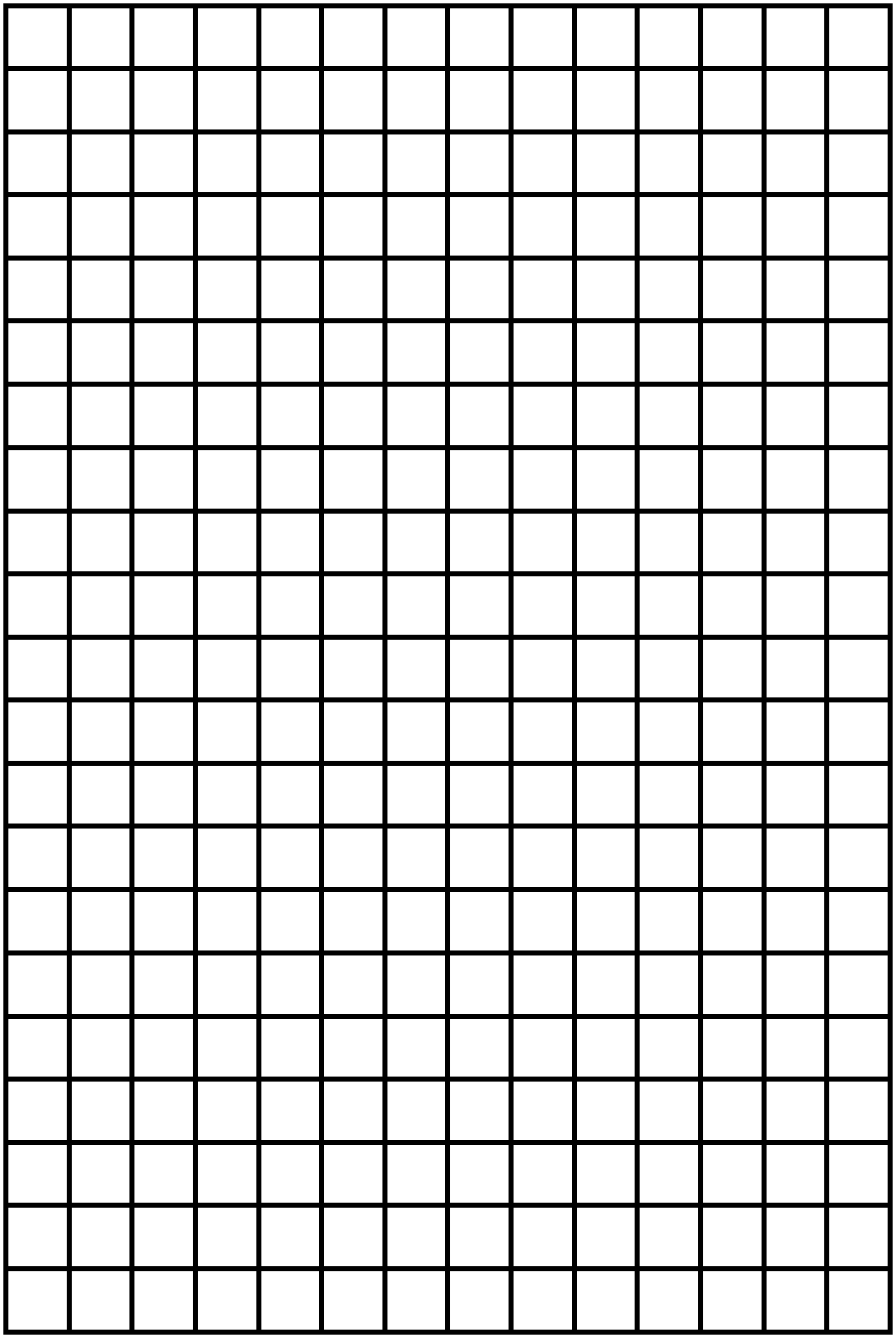
Montagem

1. Coloque os dois bancos de óptica lado a lado.
2. Monte uma fonte de luz pontual em cada banco, de acordo com a Figura 12.1.
3. Posicione o ecrã na extremidade de uma das calhas, em posição oposta à das fontes.

Procedimento

1. Ligue apenas uma das fontes.
2. Segure o lápis a uma distância de cerca de 5 cm do ecrã, de tal modo que a sua sombra seja projectada no ecrã. Rode a fonte de luz para a posição de objecto (alvo formado por duas setas cruzadas). Que modificação se verifica na sombra?
3. Rode a fonte de luz, de modo a regressar à posição de fonte pontual. Ligue a segunda fonte de luz pontual. Faça um desenho da sombra do lápis. Assinale a sombra e a penumbra.
4. Aproxime e afaste o lápis do ecrã. Que modificação se verifica na sombra?
5. Tape as fontes de luz, uma de cada vez, para determinar que parte da sombra é ocasionada por cada uma delas.

GRELHA *(para as experiências do Telescópio e do Microscópio)*



GUIA DO PROFESSOR

Experiência 1: Adição de Cores

Notas acerca da experiência
As observações dos seus alunos podem diferir um pouco entre eles e entre os resultados típicos. Encoraje-os a fazerem as observações com cuidado e com maior precisão.

Parte 1: resultados típicos:

Cores Adicionadas	Cor Resultante
Vermelho + azul + verde	Branco ligeiramente esmalte
Vermelho + azul	Púrpura rosado
Vermelho + verde	Amarelo alaranjado
Verde + azul	Verde esmalte

Parte 1: respostas do questionário
1) Misturar luzes coloridas não é mesmo que misturar tinta de cor. A mistura de cores de luzes é uma mistura aditiva enquanto que a mistura de cores de tinta é subtractiva.
2) Nesta experiência a mistura de vermelho, verde e azul não parece branco puro para a maior parte das pessoas. Para produzir luz branca as três cores teriam que estar presentes em intensidades específicas.

Parte 2: resultados típicos:

Cor da luz	Linha	Cor aparente	Parecem diferentes?	Cor real
Azul	A	Preto	Sim, ligeiramente	Vermelho
	B	Preto		Preto
Vermelha	C	Preto	Sim, ligeiramente	Azul
	D	Preto		Preto

Passo 4) Sobre luz vermelha, a tinta preta é mais fácil de observar que a vermelha. A tinta vermelha parece ligeiramente próximo da mesma cor do papel branco.

Parte 2: resposta do questionário
1) Tinta vermelha aparece vermelha porque reflecte luz vermelha e absorve outras cores. Sobre luz azul a tinta vermelha absorve a maior parte da luz visível.
2) Sobre luz vermelha, a tinta vermelha é difícil de ver porque ambas as tintas e o papel reflectem a maior parte da luz visível.

Experiência 2: Prisma

Notas acerca do procedimento
Passo 3) *(a)* As cores vermelho, laranja, amarelo, verde e azul são vistas por esta ordem. *(b)* O azul é refractado do maior ângulo. *(c)* Prevê-se que o azul seja refractado de um ângulo maior, já que o índice de refracção que lhe corresponde é maior.
Passo 4) Quando raios coloridos entram no prisma, eles não emergem paralelos um ao outro por causa dos seus diferentes índices de refracção.

Experiência 3: Reflexão – Espelhos Plano e Curvos

Parte 1: resultados típicos

Ângulo de Incidência	Ângulo de Reflexão
9,0 º	9,2 º
16,8 º	16,5 º
39,0 º	37,8 º

Parte 1: respostas do questionário
1) O ângulo de incidência e o ângulo de reflexão são iguais para o espelho plano.
2) Os três raios coloridos não vêem a sua ordem alterada, da esquerda para a direita, pelo espelho plano.

Parte 2: resultados típicos

	Espelho Côncavo	Espelho Convexo
Distância Focal	6,2 cm	6,4 cm
Raio de Curvatura	13,3 cm	13,2 cm

Parte 2: respostas do questionário
1) O raio de curvatura é duplo da distância focal para um espelho cilíndrico. Os resultados experimentais confirmam-no.
2) O raio de curvatura para um espelho plano aproxima-se do infinito.

Experiência 4: Lei de Snell

Resultados típicos:

Ângulo de incidência (graus)	Ângulo de refracção (graus)	Índice de refracção do material *n*
38,0	26,0	1,40
51,2	33,8	1,40
22,0	14,4	1,51
Índice de refracção médio		1,44
% erro		4%

Resposta ao questionário:
O ângulo segundo o qual o raio sai do prisma, é igual ao ângulo segundo o qual entra no prisma.

Experiência 5: Reflexão Total

Resultados típicos:
Passo 5) Ângulo crítico medido = 41,0 º
Passo 6) Ângulo crítico calculado: $sen^{-1}(1/n) = sen^{-1}(1/1,5) = 41,8º$
Passo 7) % erro = 1,9%

Resposta ao questionário:
1) O raio reflectido internamente torna-se mais brilhante quando o ângulo de incidência é maior do que o ângulo crítico.
2) O ângulo crítico é maior para a luz vermelha. Isto permite-nos concluir que o índice de refracção é menor.

Experiência 6: Refracção – Lentes Convexas e Côncavas

Resultados típicos

	Lente Convexa	Lente Côncava
Distância Focal	13,75 cm	-12,1 cm

Passo 5) Quando as lentes estão juntas, os raios paralelos que entram saem aproximadamente paralelas. Isto informa que as distâncias focais são aproximadamente iguais em magnitude e de sinal oposto.
Passo 6) Afastando as lentes, o espaço dos raios podem ser alterados mas mantêm-se aproximadamente paralelos.

Experiência 7: Lente oca

Resultados típicos:

Lente rodeada com:	Secção 1 cheia com:	Secção 2 cheia com:	Secção 3 cheio com:	Previsão (convergente ou divergente)	Observação (convergente ou divergente)
Ar	Água	Ar	Ar		Divergente
	Ar	Água	Ar		Convergente
	Ar	Ar	Água		Convergente
	Água	Ar	Água		Divergente
Água	Ar	Água	Água		Convergente
	Água	Ar	Água		Divergente
	Água	Água	Ar		Divergente

Respostas do questionário:
1) Uma lente plano convexa é convergente quando tem um índice de refracção superior ao meio envolvente. É divergente quando possui um baixo índice de refracção.
2) Não é possível prever quando uma lente côncava de material desconhecido será divergente ou convergente debaixo de água porque o seu índice de refracção pode ser menor ou maior que a água.

Experiência 8: Equação dos Fabricantes de Lentes

Resultados típicos:
Passo 3) Distância Focal medida: f = 12,0 cm
Passo 4) Raio de Curvatura medido = - 6,0 × 2 = -12,0 cm
Passo 5) Calculo da distância focal:
$1/f = [(n - 1)(1/R + 1/R)]^{-1} = [(1,5 - 1)(1 / (-12,0\text{ cm}) + 1 / (-12,0\text{ cm}))]^{-1} = -0,0833$

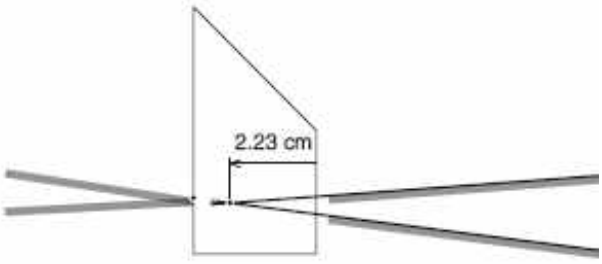
Passo 6) % erro: 0,8%

Experiência 9: Profundidade Aparente

Resultados típicos:

	d	*e*	*n*
Parte 1: método paralaxe	2,12 cm	3,18 cm	1,50
Parte 2: método de desenho	2,23 cm	3,18 cm	1,43

Tipicamente resultados com desenho dos raios de luz são representados na figura a 50% ao lado. As regiões cinzentas representam os feixes de luz, as linhas pretas e pontos representam as marcas feitas pelo aluno.
A espessura do romboedro é de e = 3,175 ± 0,025 cm. Baseando-se na valor aceite de n = 1,49, a profundidade aparente teórica é de d = 2,13.



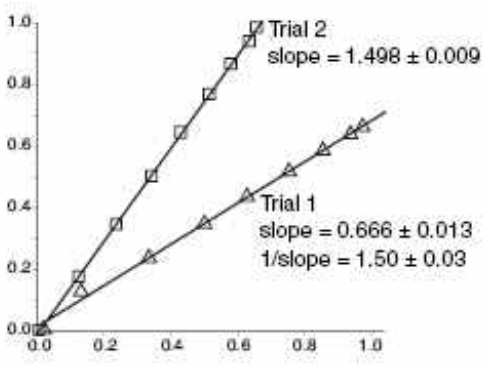
Respostas ao questionário:
1) Dos dois métodos, o método paralaxe é mais preciso. Usando esse método, quer o valor de d quer o valor de e podem ser medidos com uma precisão menor que 1 mm. Usando o método de desenhar os raios, os pontos pelos quais os raios cruzam possuem uma incerteza maior devido à espessura do feixe de luz.
2) Para os dados típicos acima, a diferença percentual entre os valores aceites e os valores experimentais de n são de 0,7% para a parte 1 e de 5% para a parte 2.

Experiência 10: Reversibilidade

Resultados típicos:

Ensaio 1 Raio incidente na face lisa		**Ensaio 2 Raio incidente na face curva**	
Ângulo de incidência θ_{i1}	Ângulo de refracção θ_{rl}	Ângulo de incidência θ_{i2}	Ângulo de refracção θ_{r2}
0º	0	0	1,0
10º	7,0	7,0	7,5
20º	13,5	13,5	19,5
30º	20,0	20,0	30,0
40º	25,5	25,5	39,0
50º	31,0	31,0	49,0
60º	35,5	35,5	59,0
70º	39,5	39,5	70,0
80º	41,0	41,0	77,0

Notas de análise:
1) Um meio de determinar $n_{acrilico}$ é pelo gráfico de sen (θ_{i1}) versus sen (θ_{r1}) e determinar o melhor ajuste de curva. O declive da linha é igual a 1/ $n_{acrilico}$. Usando este método e os dados acima, $n_{acrilico}$ = 1,498 para o ensaio 1.
2) Para o ensaio 2, $n_{acrilico}$ é o declive de sen (θ_{i2}) versus sen (θ_{r2}) logo $n_{acrilico}$ = 1,50.



Respostas ao questionário:
1) Sim, a lei da refracção é a mesma para a luz que vá em ambas as direcções entre os dois meios.
2) Sim, o princípio da reversibilidade óptica mantêm-se para a reflexão e refracção, logo a lei do ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Experiência 11: Dispersão

Resultados típicos da análise:
1) A separação de cores é observada primeiro aos 40º, no entanto pode ser observado antes dependendo da luz ambiente na sala;
2) Separação máxima ocorre a cerca de 85º, antes disso a cor violeta é reflectida totalmente internamente.
3) Pela ordem de cores observadas, são: vermelho, laranja, verde, ciano, azul, violeta (dependendo da luz ambiente da sala);
4) Com um ângulo incidente de 40º, a cor violeta refracta a 76º e o vermelho a 73º, logo $n_{vermelho}$ = 1,488 e n_{azul} = 1,510.

Experiência 12: Distância Focal de uma Lente Delgada

Notas acerca do Procedimento
Recomenda-se o uso de lentes de + 100 mm ou + 200 mm para esta experiência.

Resultados típicos: (todos os valores se encontram expressos em cm)

Distância da fonte de luz ao ecrã	d_0	d_i	1/ d_0	1/ d_i	Tamanho da imagem	Tamanho do objecto
100 cm	88,5	11,5	0,0113	0,0870	5,5 mm	42 mm
	11,0	89,0	0,0909	0,0112	81 mm	10 mm
90 cm	78,3	11,7	0,0128	0,0855		
	11,3	78,7	0,0885	0,0127		
80 cm	68,0	12,0	0,0147	0,0833		
	11,5	68,5	0,0870	0,0146		
70 cm	57,7	12,3	0,0173	0,0813		
	11,9	58,1	0,0840	0,0172		
60 cm	47,1	12,9	0,0212	0,0755		
	12,3	47,7	0,0813	0,0210		
50 cm	36,0	14,0	0,0278	0,0714		
	13,4	36,6	0,0746	0,0273		

Intercepção y = 1 / f = 0,0977 cm^{-1}
Intercepção x = 1 / f = 0,103 cm^{-1}

Distância focal:

	f
Resultado da intercepção x	9,75 cm
Resultado da intercepção y	10,2 cm
Diferença percentual entre resultados da intercepção	4,4%
Média	9,98 cm
Resultado da parte 1	10,0 cm
Diferença percentual entre resultados da intercepção e a o resultado da parte 1	0,2%

Ampliação

	Ponto 1	**Ponto 2**
M calculado da distância do objecto e da imagem	-0,130	-8,09
M calculado dos tamanhos da imagem e do objecto	0,13	8,1
Diferença percentual	0%	0,1%

Respostas do questionário:
1) A imagem é invertida.
2) A imagem é real. Pode ser projectada num ecrã.
3) Dada a reversibilidade da luz através de uma lente, é possível trocar as posições do objecto e da imagem, donde resultam duas distâncias diferentes para formação de imagens.
4) A ampliação é negativa por causa da imagem ser invertida.
5) Os três valores determinados de *f* improvavelmente são exactamente iguais, principalmente devido ao erro da medida.

Experiência 13: Distância focal e ampliação de um espelho côncavo

Parte 1: para uma distância ao objecto, $1/d_0$ aproxima-se de zero, e logo a imagem forma-se claramente com uma distância de espelho ao ecrã de $d_i = f \cong 10$ cm.

Parte 2: resultados típicos

Tabela 13.1: Distâncias do objecto e imagem

d_0	d_i	$1/d_0$	$1/d_i$	Tamanho da imagem	Tamanho do objecto
50 cm	12,5 cm	0,02 cm^{-1}	0,08 cm^{-1}		
45 cm	12,9 cm	0,0222 cm^{-1}	0,0755 cm^{-1}		
40 cm	13,4 cm	0,025 cm^{-1}	0,0743 cm^{-1}		
35 cm	14 cm	0,0286 cm^{-1}	0,0714 cm^{-1}		
30 cm	14,85 cm	0,0333 cm^{-1}	0,0673 cm^{-1}		
25 cm	16,3 cm	0,04 cm^{-1}	0,0613 cm^{-1}	2,65 cm	4,05 cm

Tabela 13.2: Distância focal

	f
Intercepção x	10,2 cm
Intercepção y	9,43 cm
Diferença percentual entre as intercepções	8%
Média dos resultados das intercepções	9,82 cm
Resultado na parte I	10 cm
Diferença percentual entre a média intercepções e a parte I	1,9%

Tabela 13.3.: Ampliação

M calculado a partir das distâncias objecto e imagem	-0652
$\|M\|$ calculado dos tamanhos da imagem e do objecto	0,654
Diferença percentual	0,3%

Resposta ao questionário:
1) A imagem é invertida;
2) A imagem é real porque pode ser observada no ecrã;
3) A ampliação é negativa porque a imagem é invertida;
4) Os três valores determinados de *f* pouco provavelmente serão exactamente iguais, devido principalmente a erros de medida.

Experiência 14: Imagens virtuais

Parte 1: notas sobre o procedimento
Passo 4: A imagem é direita e parece ser mais pequena que o objecto;
Passo 5: As respostas variam. Observando a paralaxe entre a imagem e a fonte de luz, poderá determinar que a imagem está em frente ao objecto;
Passo 8: Quando se remove a lente negativa, a imagem no ecrã fica desfocada.

Tabela 14.1: Lente negativa

d_{01}	20 cm
di_1	-8,3 cm
M_1	0,42

Parte 1: resposta ao questionário
1) A posição final da fonte de luz e a posição original da imagem virtual são as mesmas por causa da lente de +200 mm para formar a imagem no mesmo ponto;
2) A resposta pode variar;
3) M_1 é positivo, significando que a imagem está direita.

Parte 2, notas do procedimento:
Passo 4: A imagem é direita e parece mais pequena que o objecto.

Resultados típicos:

Tabela 14.2: Espelho convexo

d_{01}	20 cm
di_1	-6,5 cm
M_1	0,33

Parte 2, resposta ao questionário:
1) A ampliação de d_i é menor que d_0. Com um espelho plano, d_i e d_0 deverão ter ampliações iguais;
2) M_i é positivo, significando que a imagem está direita.

Experiência 16: Telescópio

Resultados típicos:

Posição da Objectiva (200 mm)	63,4 cm
Posição da Ocular (100 mm)	102,2 cm
Posição do ecrã	0,0 cm
Ampliação Observada	-5
d_{o1}	63,4 cm
d_{i2}	-102,2 cm
d_{i1}	29,2 cm
d_{o2}	9,6 cm
Ampliação Calculada	-4,9
% Variação	2%

Respostas do questionário:
1) Invertida
2) A imagem é virtual.

Experiência 17: Microscópio

Resultados típicos:

Posição da Objectiva (200 mm)	20,9 cm
Posição da Ocular (100 mm)	54,9 cm
Posição do ecrã	0,0 cm
Ampliação Observada	-3
d_{o1}	20,9 cm
d_{i2}	-54,9 cm
d_{i1}	19,2 cm
d_{o2}	14,8 cm
Ampliação Calculada	-3,41
% Variação	12%

Respostas do questionário:
1) Invertida
2) A imagem é virtual.

Experiência 18: Sombras

Para obtenção de melhores resultados, esta experiência deve ser realizada numa sala fracamente iluminada.

ASSISTÊNCIA TÉCNICA

J. ROMA, Lda.
Praça da Figueira, nº 12 – 1º
1100-241 Lisboa

Telf.: 218810130 ● Fax: 218810139 ● humberto@jroma.pt